



Trittsteinbiotope im Wald

Ergebnisbroschüre zum Projekt
„ConnectForestBiodiversity“



BUNDES
FORSCHUNGS
ZENTRUM
FÜR WALD



universität
wien



Österreichische
Mykologische
Gesellschaft



 Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft


Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



Impressum

© Jänner 2025

Alle Rechte liegen beim Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,
Naturgefahren und Landschaft

Presserechtlich für den Inhalt verantwortlich:

Peter Mayer, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und
Landschaft (BFW), Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, Österreich, Tel.: +43 1 87838 0;

Fax: +43 1 87838 1250

<http://bfw.ac.at>

Redaktion:

Cornelia Amon, Owen Bradley, Renate Haslinger, Johanna Hoffmann,
Katharina Lapin, Veronika Neidel, Janine Oettel, Johann Püspök,
Frederik Sachser, Robin Sandfort, Martin Steinkellner

Lektorat:

Katharina Lapin, Felix Meyer, Janine Oettel, Martin Steinkellner

Grafik und Layout:

Gerald Schnabel

Fotos:

BFW, BIOSA, iStock

Druck:

Flyeralarm.at



Vorworte

Trittsteinbiotope und Habitatvernetzung: Der Wald allein ist nicht genug ...

Im Fokus steht schon lange nicht mehr der Wald allein, sondern das gesamte Ökosystem mit seinen vielfältigen Wechselbeziehungen, Funktionen und Leistungen. Beinahe die Hälfte Österreichs ist mit Wald bedeckt. Maßgeblich für die biologische Vielfalt in den Wäldern sind einerseits die vielfältigen Standortbedingungen und andererseits die nachhaltige, kleinräumige und mosaikartige Bewirtschaftung durch die Waldeigentümer. Österreichs Wald bietet mehr als der Hälfte aller Tier- und Pflanzenarten Österreichs einen geeigneten Lebensraum und ist somit das bedeutendste Habitat der österreichischen Natur.

Um unsere vielfältigen und biodiversen Wälder gezielt zu erhalten und zu fördern sind zwei wesentliche Bausteine in der Waldbewirtschaftung zu nennen. Der erste und wesentlichste Baustein ist der Erhalt und die Förderung der Biodiversität durch aktive Maßnahmen im Rahmen einer klimafitten und multifunktionalen Waldbewirtschaftung. Dazu zählen zum Beispiel das Belassen von Totholz, von Habitat- und Veteranenbäumen, Waldrandgestaltung und vieles mehr. Ein wichtiger ergänzender Baustein ist die Außernutzungsstellung von ausgewählten Flächen. Dadurch kann, bei gezielter Auswahl der Flächen, eine Verbindung von ansonsten isolierten Lebensräumen die Ausbreitung von Arten ermöglichen. Eben diese Habitat-Vernetzung, die im Rahmen des Trittsteinbiotop-Programmes verfolgt wird, ist ein Schlüsselfaktor für den Erhalt und die Förderung der Biodiversität. Ein weiterer Schlüsselfaktor ist: das Trittsteinbiotope-Programm setzt auf Vertragsnaturschutz! Dieser Bottom Up statt Top Down-Ansatz sichert einen langfristigen und nachhaltigen Erfolg im angewandten Naturschutz.

Weiters liefert die Verknüpfung von Wissenschaft und Praxis erstmals auf breiter Basis und vielen unterschiedlichen Flächen wertvolle Informationen über die Entwicklung der Waldbiodiversität, relevanter Indikatoren und Kriterien sowie über das Artenspektrum in Österreichs Wäldern. Als seit Jahrzehnten bewährter Partner der forstlichen Praxis bietet das BFW eine wissenschaftliche Begleitung auf höchstem und vertrauenswürdigem Niveau. Schlussendlich macht die Kombination aus Vertragsnaturschutz und kompetenter Flächenbetreuung den Erfolg des Trittsteinbiotope-Programmes aus und spiegelt sich in den zahlreichen freiwillig bereitgestellten Waldflächen wider.

Verbindet euch mehr

Um diesen Trend und die Österreichischen Waldbesitzer bei ihrem Engagement für den Vertragsnaturschutz weiter zu unterstützen, hoffen wir sehr auf eine Weiterführung dieses erfolgreichen Programmes. Gemeinsam wollen wir die aktuellen Herausforderungen im Wald partnerschaftlich und auf Augenhöhe meistern und viele neue Aspekte im Bereich der Waldbiodiversität beobachten. Potenzial ist jedenfalls mehr als ausreichend vorhanden und Motivation für „Naturschutz aus erster Hand“ ebenfalls!



DI Renate Haslinger
Geschäftsführung | BIOSA-Biosphäre Austria
Schaufelgasse 6/V, 1010 Wien

Trittsteinbiotope und Habitatvernetzung: Wissenschaftliche Erkenntnisse aus dem österreichischen Pilotprojekt ConnectForestBiodiversity

Die Vernetzung von Lebensräumen ist eine der zentralen Herausforderungen unserer Zeit und ein Schlüssel zur Förderung der biologischen Vielfalt. Mit der von den Vereinten Nationen ausgerufenen Dekade zur Wiederherstellung von Ökosystemen (2021–2030) sowie der kürzlich verabschiedeten EU-Renaturierungsverordnung wird diesem Thema international höchste Priorität eingeräumt. Ziel ist es, die ökologische Konnektivität – den ungehinderten Austausch von Arten und natürlichen Prozessen – zu sichern, da sie die Grundlage für das Überleben zahlreicher Lebensformen und die Stabilität unserer Ökosysteme bildet.

Das Pilotprojekt „ConnectForestBiodiversity“ (ConnectForBio) leistet in diesem Zusammenhang einen bedeutenden Beitrag. Über vier Jahre hinweg haben wir uns der Identifikation, Bewertung und Vernetzung von Trittsteinbiotopen in österreichischen Wäldern gewidmet. Trittsteinbiotope sind kleine, aber ökologisch hochbedeutende Flächen, die Arten Lebensraum, Nahrung und Schutz bieten und somit die genetische Vielfalt und Resilienz von Populationen fördern. Sie sind essenziell, um Wälder an die Herausforderungen des Klimawandels anzupassen.

Das Projekt hat nicht nur innovative Methoden zur Priorisierung von Trittsteinbiotopen entwickelt, sondern auch wegweisende Datenerhebungsprotokolle etabliert. Diese berücksichtigen eine Vielzahl von Biodiversitätsaspekten, darunter die Vielfalt von Vegetation, Pilzen, xylobionten Käfern, waldgebundenen Vögeln und Fledermäusen sowie die Bodenbiodiversität. Dabei konnten über 400 Trittsteinbiotope in unterschiedlichsten Waldtypen und Landschaften Österreichs identifiziert und vernetzt werden. Dieses beeindruckende Netzwerk erlaubt es uns in Zukunft wichtige Fragestellungen zu beantworten, wie z.B. die vergleichende Beobachtung von Biodiversitätsentwicklungen in bewirtschafteten und nicht bewirtschafteten Wäldern, um langfristige Erkenntnisse zu gewinnen.

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse aus dem Projekt ConnectForBio sind ein wichtiger Meilenstein in der Biodiversitätsforschung. Sie zeigen eindrücklich, wie nachhaltige Waldbewirtschaftung mit dem Schutz und der Förderung von Artenvielfalt Hand in Hand gehen kann. Doch dies ist erst der Anfang des Trittsteinbiotope-Programmes. Zukünftige Schritte werden sich auf die langfristige Beobachtung der Biotopentwicklungen, den Ausbau des Netzwerks und die Evaluierung der Klimawandeleinflüsse konzentrieren.

Die vorliegende Broschüre dokumentiert die ersten Ergebnisse des Projekts und gibt einen Einblick in die Herausforderungen und Chancen. Sie richtet sich an Waldeigentümer:innen und -bewirtschafter:innen, Forschende und politische Entscheidungsträger:innen gleichermaßen, ohne deren Unterstützung wir diese wissenschaftliche Pionierarbeit nicht umsetzen könnten.

Mit Dank für die Zusammenarbeit und voller Zuversicht,



DI Dr. Katharina Lapin
Leitung | Institut für Waldbiodiversität & Naturschutz
Bundesforschungszentrum für Wald (BFW)
Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien

Danksagung

Wir möchten an dieser Stelle unseren tiefen Dank an alle aussprechen, die die Umsetzung des Pilotprojektes ConnectForBio ermöglicht und damit zum Aufbau des Trittsteinbiotope-Programmes beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gilt den Fördergebern, die durch ihr Interesse und die Bereitstellung der finanziellen Mittel die Grundlage für die erfolgreiche Umsetzung des Pilotprojekts ConnectForBio und seiner Folgeprojekte geschaffen haben. Unser Dank gilt den juristischen und fachlichen Berater:innen, die uns mit ihrer Expertise in rechtlichen und fachlichen Fragen bei der Konzeption und Umsetzung stets zuverlässig unterstützt haben.

Ein herzliches Dankeschön geht an alle Interessensvertretungen, NGOs, Vereine und Projektpartner:innen, die mit ihrer Tatkraft und ihrem Einsatz die Flächenakquise unterstützt, das Projekt bekannt gemacht und die Untersuchungen ermöglicht haben. Durch ihre Bemühungen haben sich Waldeigentümer:innen aus ganz Österreich gemeldet und ihre Flächen als Trittsteinbiotope zur Verfügung gestellt. Den Waldeigentümer:innen danken wir für das entgegengebrachte Vertrauen, ihre Geduld und ihr Verständnis. Ihre Offenheit und Kooperationsbereitschaft sind entscheidend für den Fortschritt und Erfolg des Projekts.

Ein besonderer Dank gilt den Wissenschaftler:innen, deren fachlicher Austausch uns wertvolle Erkenntnisse und neue Perspektiven eröffnet hat. Auch danken wir den zahlreichen Abteilungen und Fachbereichen des BFW, die sowohl die Projektabwicklung als auch die finanzielle Abwicklung sichern.

Ohne die Zusammenarbeit, den Einsatz und die Unterstützung all dieser Menschen wäre dieses Projekt nicht möglich gewesen.

Vielen Dank!

Das Trittsteinbiotope-Team



Inhaltsverzeichnis

Vorworte	3
Trittsteinbiotope und Habitatvernetzung: Der Wald allein ist nicht genug	3
Trittsteinbiotope und Habitatvernetzung: Wissenschaftliche Erkenntnisse aus dem österreichischen Pilotprojekt ConnectForestBiodiversity.....	4
Danksagung	5
Das Trittsteinbiotope-Programm in Österreichs Wäldern	8
Einleitung – Vom Pilotprojekt ConnectForestBiodiversity zum Programm.....	9
Schwerpunktthemen.....	12
Waldflächen mit Habitatbäumen.....	12
Totholzreiche Flächen	13
Flächen mit Habitatstrukturen.....	14
Sonderstandorte.....	15
Flächen mit seltenen Artenvorkommen.....	16
Flächen natürlicher Sukzession.....	17
Flächensuche und Flächenmeldung.....	18
Flächenpriorisierung.....	19
Erhebungen und Kartierungen.....	25
Forschungsschwerpunkt Trittsteinbiotope	26
Einleitung.....	27
Das ConnectForBio - Untersuchungsgebiet	27
Intensivuntersuchungen.....	30
Die Vielfalt und mögliche Indikatorarten der Vegetation.....	30
Pilzdiversität - Auf Schwammerlsuche in Trittstein-biotopen der Nördlichen Kalkalpen.....	35
Xylobionte Käferarten – vielfältige Lebensraum-Spezialisten.....	43
Waldgebundene Vögel und Fledermäuse hörbar machen	49
Auf den Spuren der tierischen Nutzer von Baumhöhlen.....	55
Der Waldboden: ein magischer Teppich aus komplexem Leben.....	59
Zusammenfassung und Ausblick	64
Summary and future perspective.....	65
Literatur	66

Das Trittsteinbiotope-Programm in Österreichs Wäldern



Einleitung – Vom Pilotprojekt ConnectForestBiodiversity zum Programm

ConnectForestBiodiversity (ConnectForBio) ist ein 2021 am Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) initiiertes Pilotprojekt der Ländlichen Entwicklung 2014-2020. Es wird mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union gefördert. Ziele des Projektes sind es, Trittsteinbiotope in österreichischen Wäldern zu identifizieren, ihre Außernutzungsstellung voranzutreiben und sie wissenschaftlich zu untersuchen.

Geeignete Lebensräume für Arten, die von Klimawandel und Fragmentierung betroffen sind, umfassen nicht nur bestehende Schutzgebiete, sondern auch kleine Biotope und Korridore. Diese dienen als Rückzugsorte für zahlreiche waldbewohnende Arten, darunter spezialisierte Käfer, Moose und Flechten, und ermöglichen gleichzeitig die Vernetzung ansonsten isolierter Lebensräume. Sie verbessern die Ausbreitungsmöglichkeiten von Arten mit begrenzter Reichweite.



Abbildung 1: Die Larven des Scharlachroten Feuerkäfers (*Pyrochroa coccinea*) leben unter loser Rinde an Totholz, der adulte Käfer lebt räuberisch. (Foto: BFW/Wolter)



Abbildung 2: Die Rötende Tramete (*Daedaleopsis confragosa*) lebt bevorzugt in stickstoffreichen Auwäldern und zersetzt Laubholz. (Foto: BFW/Wolter)

Abbildung 3: Die Heideflechte (*Icmadophila erictorum*) kommt auf sauren Böden in Gebirgslagen vor und besiedelt morsches Holz. (Foto BFW/Oettel)



Eine effektive Vernetzung erfordert jedoch die Berücksichtigung zweier entscheidender Aspekte:

- ▶ Strukturelle Konnektivität
- ▶ Funktionelle Konnektivität

Die strukturelle Konnektivität bezieht sich auf räumliche Parameter wie Distanz und Lebensraumgröße, die entscheidend für die Schaffung und den Erhalt eines vernetzten Landschaftsgefüges sind. Die funktionelle Konnektivität hingegen hängt von der Qualität der Lebensräume ab und gewährleistet, dass diese tatsächlich als geeignete Verbindungs- oder Rückzugsorte genutzt werden können. Beide Aspekte sind unerlässlich, um die Ausbreitungsmöglichkeiten von Arten zu verbessern und ihre erfolgreiche Migration angesichts des Klimawandels zu fördern.

In den letzten 4 Jahren wurden im Rahmen des Pilotprojektes ConnectForBio Waldflächen mit einer Größe von 0,5 bis 5,0 Hektar als Trittsteinbiotope abgegrenzt und für einen Zeitraum von zehn Jahren aus der forstlichen Nutzung genommen. Dies erfolgte auf Basis vertraglicher Vereinbarungen, die mit einer einmaligen finanziellen Abgeltung von 1.750 bis 2.520 € pro Hektar verbunden sind. Waldeigentümer:innen hatten die Möglichkeit freiwillig an dem Projekt teilzunehmen, indem sie potenziell geeignete Flächen an das BFW meldeten. Nach erfolgter Priorisierung der Flächenmeldung wurden diese Flächen gemeinsam mit den Waldeigentümer:innen begutachtet, um

ihre Eignung zu bewerten, mögliche Ausschlusskriterien, wie z.B. das Bestehen von Objektschutzfunktion oder drohender Borkenkäferbefall auf einer Fläche, zu prüfen und die ausgewählten Flächen als Trittsteinbiotope abzugrenzen.

Aus dem Pilotprojekt ConnectForBio ist mittlerweile das „Trittsteinbiotope-Programm“ entstanden, das derzeit drei Projekte zur Identifikation, Außer-nutzungsstellung und wissenschaftlichen Untersuchung von Trittsteinbiotopen in Österreichs Wäldern umfasst. Mit den Projekten ConnectPLUS (gefördert aus Mitteln des Waldfonds der Republik Österreich) und ConnectBurgenland (gefördert aus Mitteln der Ländlichen Entwicklung 2014-2020) können nun auch größere Waldflächen bis zu 25 Hektar für bis zu 20 Jahre aus der forstlichen Nutzung genommen und der Forschung zur Verfügung gestellt werden.

Um die Biodiversität gezielt zu fördern und geeignete Flächen effektiv auszuwählen, wurden thematische Schwerpunkte definiert, die wesentliche Aspekte der Biodiversität einbeziehen. Diese Schwerpunkte bilden die Grundlage für die Flächenauswahl und die Untersuchung ihrer Bedeutung für den Erhalt der ökologischen Konnektivität.

LITERATURTIPP:

Taschenführer der Baum-mikrohabitate:

<https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:22451/datastream/PDF>



Foto: BFW/Eckart

Schwerpunktt Themen

Waldflächen mit Habitatbäumen

Habitatbäume sind stehende, lebende oder abgestorbene Bäume, die besondere Mikrohabitate bieten. Solche Mikrohabitate, wie Baumhöhlen, Pilzfruchtkörper, Moos- oder Flechtenbewuchs, schaffen wertvolle Kleinlebensräume für zahlreiche Arten. Sie bieten zeitlich begrenzte Rückzugsorte und können die Ausbreitung von Populationen in geeignete Lebensräume fördern. Baum-Mikrohabitate können auch Strukturen sein, die den Baum lediglich als Stütze nutzen, beispielsweise Nester, Efeu oder Lianen. Darüber hinaus dienen Mikrohabitate zahlreichen Arten als Lebensraum, Brutplatz oder zur Nahrungssuche. Beispielsweise sind holzbewohnende Insekten wie der Heldbock (*Cerambyx cerdo*) oder höhlenbrütende Vögel wie die Zwergohreule (*Otus scops*) auf Habitatbäume angewiesen. Waldflächen mit mindestens fünf Habitatbäumen pro Hektar können als Trittsteinbiotope ausgewiesen werden.



Abbildung 4: Habitatbaum mit Fraßspuren des Heldbocks (*Cerambyx cerdo*) und dessen Räubern. (Foto: BFW/Fels)



Abbildung 5: Zwergohreule (*Otus scops*) sitzend vor einer Baumhöhle (Foto: istockphoto.com/MriyaWildlife/1266567171)

Totholzreiche Flächen

Die Menge an Totholz trägt wesentlich zur Biodiversität und Naturnähe eines Waldes bei. Doch nicht nur die Quantität, sondern auch die Beschaffenheit von Totholz ist entscheidend für das Überleben vieler totholzabhängiger Arten. Die Eigenschaften werden anhand des Durchmessers, des Zersetzungsgrads, der Baumart und des Totholztyps (stehend, liegend, Stumpf) definiert. Beispielsweise besiedelt der Scharlachkäfer (*Cucujus cinnaberinus*) vor allem in Auwäldern wenig zersetztes Totholz von Bäumen mit feuchten und morschen Rindenbereichen. Der Alpenbock (*Rosalia alpina*) hingegen ist ein Altholzbesiedler, der zur Eiablage zumeist Rotbuche und Bergahorn wählt. Waldflächen mit einer Mindest-Totholzmenge von 20 m³ pro Hektar können als Trittsteinbiotope eingerichtet werden. Dabei ist es unerheblich, ob es sich um liegendes oder stehendes Totholz handelt – beide Typen leisten einen wichtigen Beitrag zur Förderung der Biodiversität.



Abbildung 6: Der Scharlachkäfer (*Cucujus cinnaberinus*) lebt unter der Rinde von absterbenden und toten Laubbäumen (Foto: istockphoto.com/Als/131018907).

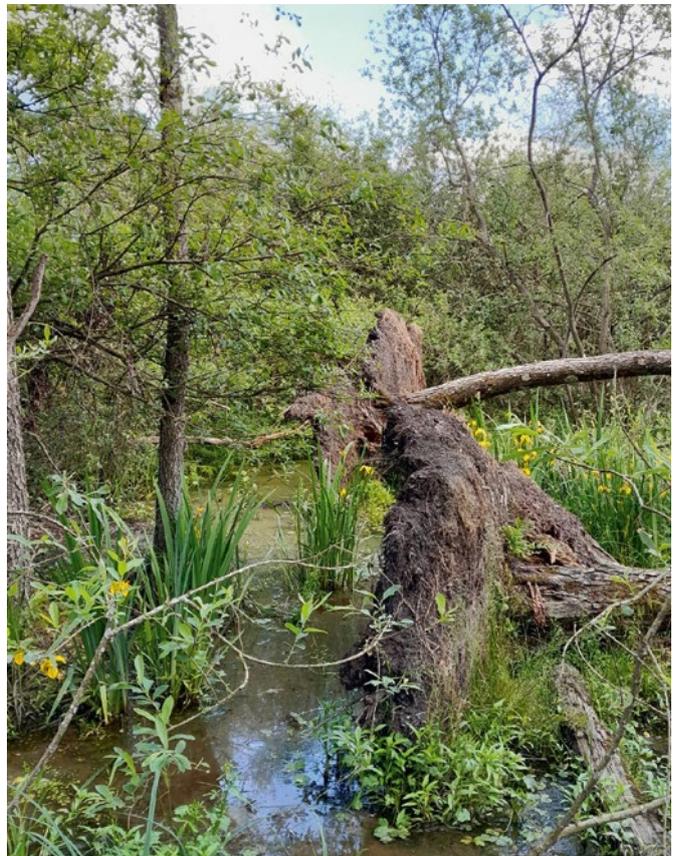


Abbildung 7: Der Alpenbock (*Rosalia alpina*) bevorzugt Altholz von Buche und Bergahorn (Foto: BFW/Fels).

Flächen mit Habitatstrukturen

Habitatstrukturen sind Kleinlebensräume am Waldboden, die wesentlich zur Strukturvielfalt eines Waldes beitragen. Sie fördern die Artenvielfalt, schaffen vielfältige Lebensräume und unterstützen die Erhaltung der genetischen Vielfalt. Zu den Habitatstrukturen zählen Wurzelteller, die durch umgestürzte Bäume entstehen und durch ihre vielfältigen Strukturen aus Holz- und Bodenbestandteilen Kleinbiotope für viele Arten bieten. Feucht- und Trockenbiotope sind spezielle Lebensräume, die unterschiedliche und spezialisierte Arten fördern, sowie zur ökologischen Balance beitragen. Asthaufen dienen als Unterschlupf, während Steinhaufen, Blockhalden und Steinwälle attraktive Versteckmöglichkeiten, günstige Sonnenplätze, Eiablagestellen und Winterquartiere für Spinnen oder Reptilien bieten. Weiterhin bilden stehende und fließende Gewässer wichtige Lebensräume für Amphibien und aquatische Insekten.

Abbildung 8: Ein aufgeklappter Wurzelteller mit feuchten und trockenen Bereichen bietet Lebensraumvielfalt auf kleinstem Raum. (Foto: BFW/Wolter)



Sonderstandorte

Sonderstandorte sind Bereiche im Wald, deren standörtliche Eigenschaften stark von den regional vorherrschenden Bedingungen abweichen. Sie bieten hoch spezialisierten, an Extrembedingungen angepassten und zumeist seltenen Pflanzen-, Tier- und Pilzarten einen Lebensraum und sind von besonderer Bedeutung für die Biodiversität. Sonderstandorte sind essenzielle Rückzugsorte für Arten, deren Lebensräume durch den Klimawandel zunehmend gefährdet sind. Gleichzeitig ermöglichen sie Populationen an den Rändern ihrer geografischen Verbreitung, sich in klimatisch geeignete Bereiche auszubreiten. Zu den Sonderstandorten zählen Auenstandorte in (ehemaligen) Überschwemmungsbereichen von Flüssen, organische Standorte und Moore, sowie andere Nassstandorte. Schluchtwälder mit vielgestaltigen, edellaubholzreichen Mischwäldern, die sich durch kühl-feuchte Schluchten oder trocken-warme, sich teils bewegende Hangschuttlagen auf Silikat- oder Karbonatgestein auszeichnen. Auch Trockenstandorte, wie Relikte submediterraner Flaumeichenwälder auf sehr trockenen Sonnhängen, Blockstandorte oder erosionsgefährdete feinerdereiche Steilhänge und steile rutschungsgefährdete Grabeneinhänge oder auch Serpentinstandorte (Ultrabasite) zählen dazu. Ein Sonderstandort kann als Trittsteinbiotop ausgewiesen werden, wenn mehr als 50 % dieser Klassifizierung entsprechen werden.

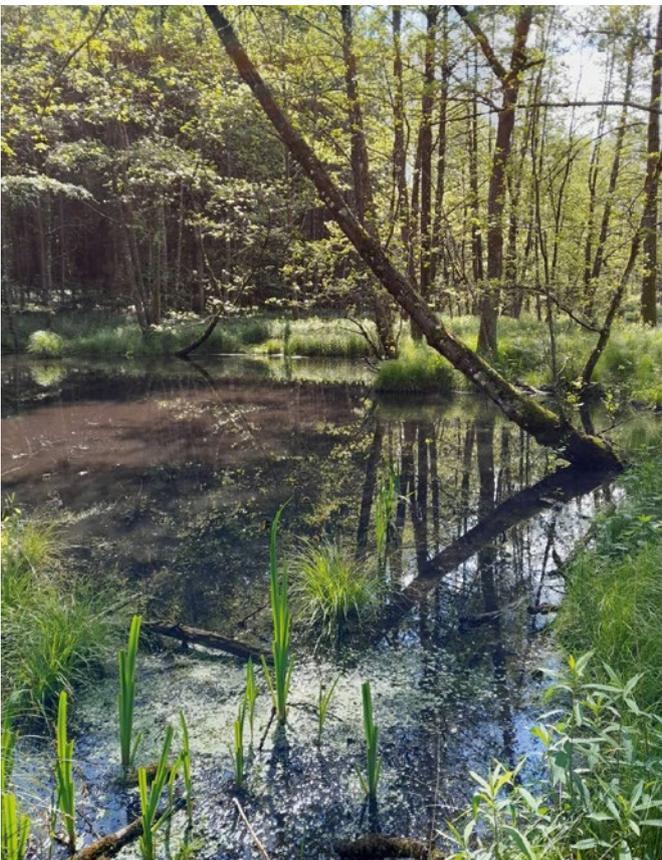


Abbildung 9: Auenstandort mit Überschwemmungsbereich tragen zur ökologischen Balance bei (Foto: BFW/Wolter)

Flächen mit seltenen Artenvorkommen

Flächen mit Vorkommen seltener und daher gefährdeter Tier-, Pflanzen- und Pilzarten, die gemäß der Roten Liste als mindestens „gefährdet“ eingestuft sind, können als Trittsteinbiotope ausgewiesen werden. Der gezielte Schutz von Flächen unter Berücksichtigung artspezifischer Lebensraumanforderungen ermöglicht den Aufbau eines Netzwerkes von Lebensräumen für solche Art(en). Die Vernetzung von Lebensräumen ermöglicht es Arten, sich durch die Landschaft zu bewegen. Dadurch wird der Genfluss zwischen Populationen gefördert, was die lokale Anpassungsfähigkeit stärkt und das (lokale) Aussterberisiko verringert. Eine verbesserte Vernetzung der Landschaft erhöht zudem die Chancen, neue Lebensräume zu besiedeln – ein Faktor, der gerade im Kontext des Klimawandels von besonderer Bedeutung ist.



Abbildung 10: Der Ästige Stachelbart (*Hericium coralloides*) befindet sich auf der Roten Liste der Pilzarten Österreichs (Foto: BIOSA/Haslinger)

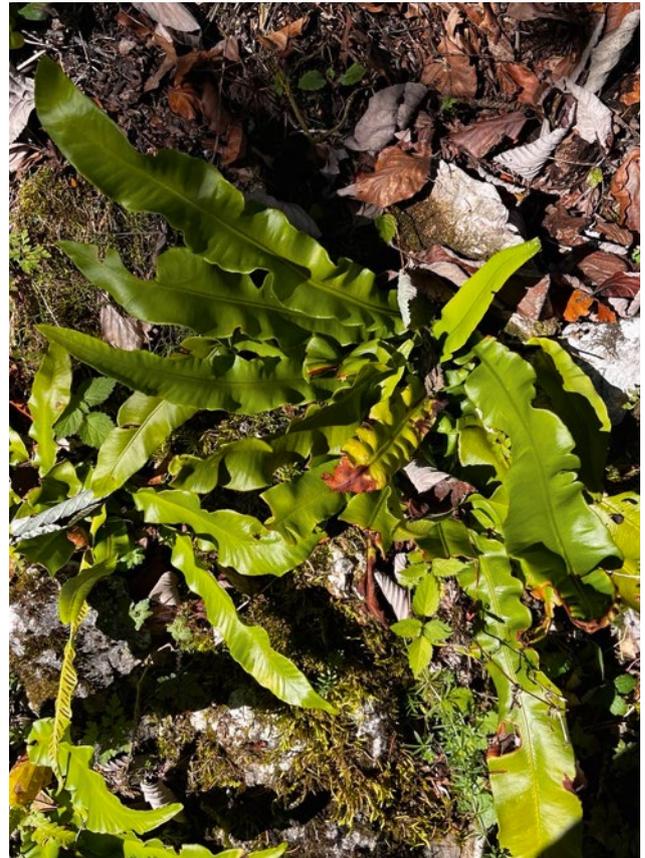


Abbildung 11: Der Hirschzungenfarn (*Asplenium scolopendrium*) kommt an feuchten eher schattigen Steilhängen in Eschen-Ahorn-Schluchtwäldern vor (Foto: BFW/Fels)

Flächen natürlicher Sukzession

Sukzessionsflächen sind Waldflächen mit Freiflächencharakter, die nach Störungen entstehen. Die Untersuchung dieser Flächen bietet wertvolle Einblicke in die natürliche Wiederbewaldung und ermöglicht es, beteiligte Arten und Prozesse der Samenverbreitung nachzuvollziehen. Klimawandelbedingte Temperaturanstiege und regionale Veränderungen der Niederschlagsmuster führen zu einer Zunahme von Borkenkäferbefall. Insbesondere die Gemeine Fichte (*Picea abies*) ist vom Buchdrucker (*Ips typographus*) betroffen. Höhere Temperaturen und eine verlängerte Vegetationszeit ermöglichen mehrere Borkenkäfergenerationen pro Jahr. Zusätzlich verursacht ein Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode erheblichen Stress für die Bäume, wodurch sich deren Anfälligkeit gegenüber einem Befall erhöht. In Kombination mit häufigeren Extremereignissen, wie Stürmen, kommt es zu flächigen Störungen (Kalamitäten). Aufgrund forstrechtlicher phytosanitärer Bestimmungen muss befallenes Schadholz rasch entfernt werden, wodurch Sukzessionsflächen entstehen. Die Untersuchung der natürlichen Wiederbewaldung dieser Flächen und der zugehörigen Artengruppen, wie Spinnen, Käfer und Zikaden, Vogelarten sowie Moose, Flechten und Pflanzenarten stellt eine einmalige Gelegenheit dar. Die gewonnenen Erkenntnisse können in zukünftige Bewirtschaftungsstrategien integriert werden. Die gesuchten Waldflächen befinden sich am Beginn der sekundären Sukzession, daher sind Flächen mit Bodenbearbeitung (z.B. Mulchen) ausgeschlossen. Die Einrichtung von Sukzessionsflächen umfasst die Errichtung von Verbiss-Kontrollzäunen, welche der Erhebung des Verbisses von Schalenwild dienen.



Abbildung 12: Blick auf eine Sukzessionsfläche mit Freiflächencharakter nach Borkenkäferbefall im Waldviertel (Foto: BFW/Sachser).

Flächensuche und Flächenmeldung

Die Suche nach geeigneten Waldflächen anhand der oben genannten Schwerpunkte erfolgte über Aufrufe zur freiwilligen Flächenmeldung auf der Website www.trittsteinbiotope.at. Unterstützt wurde die Flächenakquise durch die Projektpartnerin BIOSA, welche das Programm in Form von Werbe-Kampagnen via Pressemitteilungen, Zeitschriftenartikel, Projektfolder, Newsletter, Social Media, Präsentationen und in persönlichen Gesprächen in mehreren Phasen intensiv publik machte. Um eine möglichst ausgewogene Verteilung in allen Bundesländern sicherzustellen, wurde die Flächenakquise in späteren Phasen gezielt in den entsprechenden Bundesländern und Regionen intensiviert.

Förderfähig sind alle privaten Waldeigentümer:innen und Gebietskörperschaften gemäß der Sonderrichtlinie für die Ländliche Entwicklung (LE) 2014-2020 bzw. jener des Waldfonds der Republik Österreich. Für die Flächenmeldung sind neben den Kontaktinformationen, einschließlich der Betriebsnummer, auch Angaben zur Waldfläche erforderlich. Dazu gehören Grundstücksdaten, GPS-Koordinaten zur genauen Lage, die Flächengröße und die Waldgesellschaft. Optional können Kartenmaterial und Fotos zur Veranschaulichung eingereicht werden.

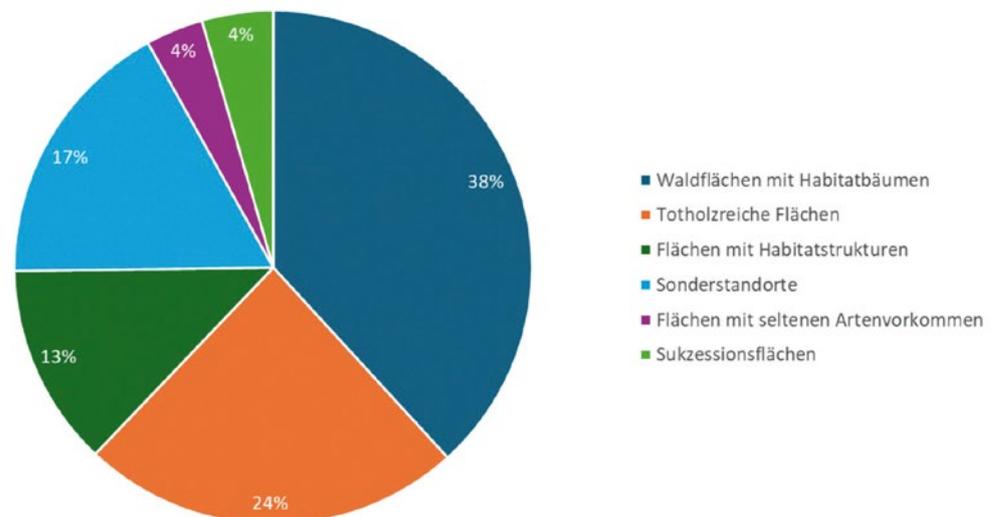


Abbildung 13: Prozentuale Verteilung der Flächenmeldungen im Trittsteinbiotope-Programm auf die Schwerpunktthemen (Stand: 10.01.2025)

wurden über 900 Flächen mit einer Gesamtfläche von über 3.000 ha als potenzielle Trittsteinbiotope an das Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) gemeldet, davon 683 Flächen (76%) mit über 880 ha im Rahmen des Pilotprojekts ConnectForBio. Am häufigsten betrafen Meldungen Waldflächen mit Habitatbäumen sowie totholzreiche Flächen. Auch Sonderstandorte, wie Moorwälder und Eschen-Auwälder, wurden in beachtlicher Zahl gemeldet

(siehe Abbildung 13). Die meisten Flächenmeldungen stammen aus den Bundesländern Niederösterreich und Steiermark. Hingegen gingen aus Salzburg, Tirol und Vorarlberg deutlich weniger Meldungen ein. Dies könnte unter anderem auf die Eigentumsverhältnisse, sowie das vermehrte Vorkommen von Wäldern mit Objektschutzfunktion zurückzuführen sein (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Anzahl der Flächenmeldungen im Trittsteinbiotope-Programm je Bundesland (Stand: 10.01.2025).

Bundesland	Anzahl Flächenmeldungen
Burgenland	142
Kärnten	70
Niederösterreich	264
Oberösterreich	96
Salzburg	17
Steiermark	293
Tirol	41
Vorarlberg	21
GESAMT	944

Flächenpriorisierung

Die Priorisierung der gemeldeten Flächen umfasst eine GIS-basierte Analyse, die verschiedene naturräumliche Aspekte, wie Landnutzungsarten, Landschaftsbarrieren, bestehende Schutzgebiete und artenspezifische Informationen berücksichtigt. Ziel ist es, Trittsteinbiotope in Regionen mit hohem Vernetzungspotenzial oder einer Pufferwirkung für geschützte Arten und wertvolle Lebensräume zu etablieren.

Hierfür wurde ein Konzept entwickelt, das auf national und regional verfügbaren Biodiversitätsdaten basiert und die Bewertung von Waldlebensräumen für die Naturschutzplanung unterstützt. Konkret wurde ein Priorisierungskonzept für Waldlebensräume erarbeitet, um Vorranggebiete in Österreich zu identifizieren, die sich für Trittsteinbiotope eignen. Dieses Konzept betont die Bedeutung von Trittsteinbiotopen als Maßnahme zur Vermeidung und Reduzierung von Lebensraumfragmentierung, ergänzend zu bestehenden Schutzgebieten. Zur Entwicklung des Priorisierungskonzepts und zur Berechnung einer Prioritätskennzahl wurden räumliche Daten und Vernetzungsinformationen verwendet. Diese wurden in vier Indikatoren zusammenfasst: (i) Schutzwert, (ii) Vernetzungswert, (iii) Artenwert und (iv) Habitatwert (siehe Abbildung 14).

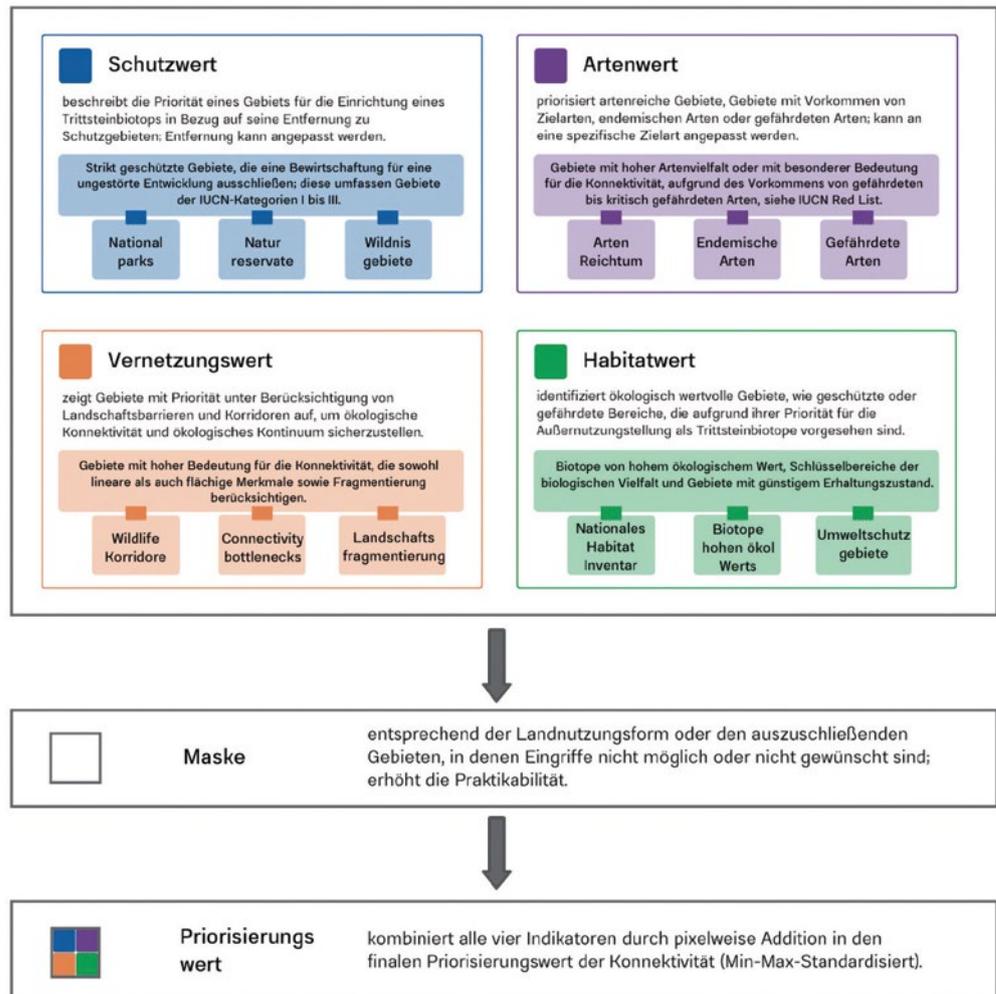


Abbildung 14: Priorisierungskonzept zur Identifizierung von Trittsteinbiotopen für den Schutz der Biodiversität in Wäldern bestehend aus vier Indikatoren: (i) Schutzwert, (ii) Vernetzungswert, (iii) Artenwert und (iv) Habitatwert.

die relevanten Daten für jeden der vier Indikatoren zu erfassen. Die Indikatorwerte sowie der endgültige Priorisierungswert werden durch pixelweise Minimum-Maximum-Normalisierung standardisiert, sodass die Werte auf einer Skala von 0 (geringe Priorität) bis 1 (hohe Priorität) liegen.

Die gesamte bewaldete Fläche Österreichs (39.587 km²) wurde analysiert, um Flächen für Biodiversität und Waldnaturschutz zu priorisieren. Von der Gesamtfläche wurden 84 % (33.344 km²) als grundsätzlich geeignet eingestuft, während 16 % (6.243 km²) aufgrund ihrer Schutzfunktion oder eines bereits bestehenden hohen Schutzstatus ausgeschlossen wurden (siehe Abbildung 15). Das entwickelte Konzept bietet eine umfassende Methodik zur Priorisierung von Waldflächen für den Vertragsnaturschutz in Österreich (siehe Abbildung 14) und kann in anderen Regionen und Ländern unter Anpassung an lokale Datenverfügbarkeit, Artenanforderungen und regionale Bedingungen angewandt werden.

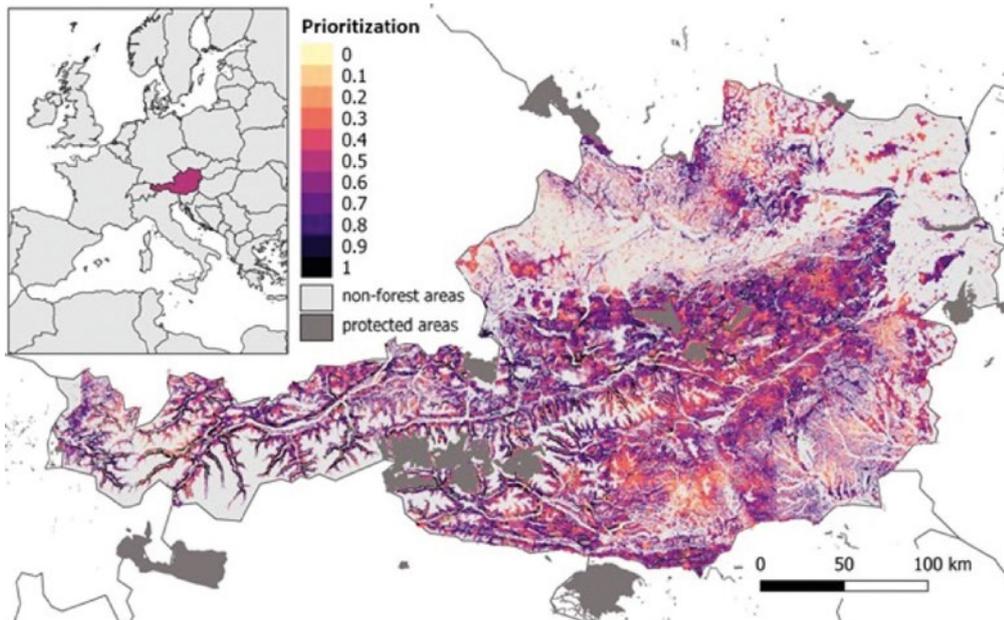


Abbildung 15: Kartendarstellung der Priorisierung österreichischer Wälder für die Habitatvernetzung mit Werten zwischen 0 (niedrig) und 1 (hoch). Der Priorisierungswert wurde unter Verwendung einer hochauflösenden Karte der Waldflächen Österreichs maskiert; Nicht-Waldflächen, Flächen mit Schutzfunktionen des Waldes, streng geschützte Gebiete wurden anschließend von der Priorisierung ausgeschlossen (grau).

LITERATURTIPP:

Priorisierung von Trittsteinbiotopen für die Biodiversität in Wäldern

<https://doi.org/10.1111/csp2.13161>



Flächenbegutachtung und -einrichtung

Die gemeldeten und als prioritär eingestuften Waldflächen wurden anschließend bei einer gemeinsamen Begehung mit den Waldeigentümer:innen fachlich hinsichtlich Ihrer Eignung begutachtet. Dabei wurden neben den definierten Schwerpunktthemen und dem entsprechenden Beitrag der Fläche zur Habitatvernetzung auch weitere räumliche, forstrechtliche und naturschutzfachliche Aspekte berücksichtigt.

Trittsteinbiotop zeichnen sich durch eine extensive Bewirtschaftung der vergangenen Jahrzehnte aus, wodurch auf eine gewisse Naturnähe geschlossen werden kann. Mit standortsuntypischen Baumarten aufgeforstete, kürzlich durchforstete oder flächig genutzte Wälder sind daher ungeeignet. Für die Förderung einer natürlichen Waldentwicklung mit standortgerechter und artenreicher Baumartenzusammensetzung ist eine ungehinderte Waldverjüngung unerlässlich. Diese sollte durch eine Bejagung auf der eingerichteten Trittsteinfläche gewährleistet werden. Das Anlegen und Freihalten von Schusschneisen oder Pirschfaden sollte außerhalb des Trittsteinbiotops erfolgen. Gleichzeitig ist auf dauerhafte bauliche jagdliche Einrichtungen wie Fütterungen oder Kirrungen zu verzichten, da diese durch den erhöhten Nährstoffeintrag und die erhöhte Lockwirkung eine natürliche Entwicklung der Fläche beeinträchtigen. Auch beweidete Flächen sind aufgrund des erhöhten Verbisses und des Viehtritts nicht für die Einrichtung als Trittsteinbiotop geeignet, da diese eine natürliche Waldentwicklung ebenfalls stark einschränken. Für Flächen, die sich entlang von

öffentlichen Straßen, Forststraßen oder markierten Wanderwegen befinden, ist die Wegesicherung zu beachten und es sollte eine Pufferzone von etwa einer Baumlänge eingeplant werden. Gleiches gilt für Leitungstrassen, da diese aufgrund der Verkehrssicherungspflicht per Gesetz freigehalten werden müssen.

Bann- und Objektschutzwälder dienen dem Schutz von Menschen, Siedlungen, Infrastrukturen oder kultivierten Böden vor Naturgefahren oder schädlichen Umwelteinflüssen. Um diese Schutzfunktion aufrechtzuerhalten, können besondere forstliche Maßnahmen erforderlich sein. Aus diesem Grund ist die Einrichtung von Trittsteinbiotopen in Bann- und Objektschutzwäldern nicht möglich. Auch Waldflächen mit drohendem Schädlingsbefall, beispielsweise durch Borkenkäfer in Fichtenwäldern, sind als Trittsteinbiotope ungeeignet. Laut Österreichischem Forstgesetz (1975) müssen bei einem Schädlingsbefall phytosanitäre Maßnahmen durchgeführt werden, um eine weitere Ausbreitung zu verhindern.

Flächen mit einem erhöhten Vorkommen invasiver Neophyten sind ebenfalls auszuschließen, da diese Arten entfernt werden sollten, um negative ökologische Auswirkungen zu verhindern. Insbesondere in Tieflagen (unter 900 m Seehöhe) sollte auf die Einrichtung eines Trittsteinbiotops verzichtet werden, wenn der Deckungsgrad einer invasiven Neophyten-Art über 60% liegt. In höheren Lagen (über 900 m Seehöhe) sollte dieser Wert 30% nicht überschreiten. Zudem ist die Einrichtung eines Trittsteinbiotops nicht sinnvoll, wenn invasive Neophyten die natürliche Waldverjüngung erheblich beeinträchtigen.

Wurde eine Waldfläche als geeignet eingestuft, erfolgte die Flächenabgrenzung gemeinsam mit den Waldeigentümer:innen. Eine präzise Flächenabgrenzung ist entscheidend, um Trittsteinbiotope deutlich von bewirtschafteten Waldflächen zu differenzieren. Entlang der Grenzen erfolgen Markierungen am Baumbestand, die Grenzen werden digital erfasst und Eckpunkte per GPS-Gerät vermessen. Dies erleichtert die Wiederauffindbarkeit der Flächen für Folgeerhebungen, Kontrollen und andere Maßnahmen. Die Abgrenzung soll effizient und nachvollziehbar sein. Dabei werden Naturgrenzen wie Fluss- oder Bachläufe, Fels- oder Bergrücken und Gräben erfasst und nach Möglichkeit und Absprache mit den Waldeigentümer:innen verwendet. Bereiche entlang von Straßen und Wegen die einer Wegesicherung unterliegen, werden mit einer Pufferzone ausgeschlossen. Dieser Sicherheitsabstand soll potenzielle Risiken minimieren. Der Abstand zwischen zwei Trittsteinbiotopen beträgt mindestens 150 m, um eine gewisse räumliche Verteilung zu gewährleisten.

Insgesamt wurden bisher über 433 Trittsteinbiotope mit einer Gesamtfläche von 1.245 ha in ganz Österreich eingerichtet (siehe Abbildung 16). Davon entfallen 371 Flächen mit 637 ha auf das Pilotprojekt ConnectForBio, das einen maßgeblichen Beitrag zum Aufbau des Programms geleistet hat. Die meisten Trittsteinbiotope wurden, wie aufgrund der hohen Anzahl an Flächen-

Trittsteinbiotope in Österreich

Trittsteinbiotope $\geq 0,5$ und ≤ 25 ha
● eingerichtete Flächen
Geoland Basemap Orthofoto

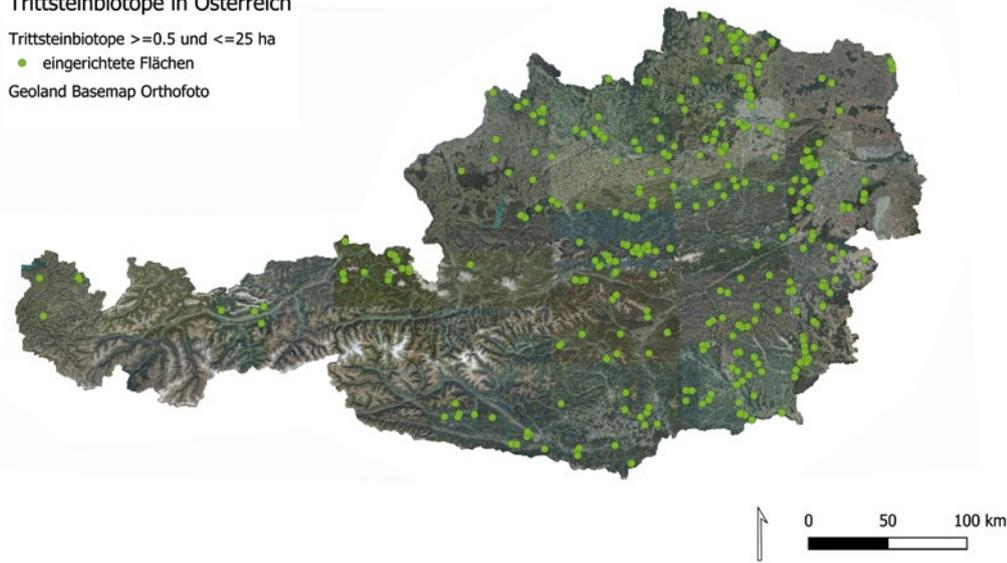


Abbildung 16: Kartendarstellung der Flächeneinrichtungen mit einer Größe zwischen 0,5 und 25 ha im Trittsteinbiotope-Programm Österreichs (Stand: 10.01.2025).

meldungen erwartet, in den Bundesländern Niederösterreich, Steiermark und Burgenland eingerichtet (siehe Tabelle 2). Die Schwerpunktthemen konzentrieren sich vor allem auf totholzreiche Flächen und Waldflächen mit Habitatbäumen, die sich im Bundesgebiet verteilen. Darüber hinaus wurden etliche Sonderstandorte, wie Auwälder, eingerichtet. Weitere Schwerpunktthemen werden eher vereinzelt abgedeckt (siehe Abbildung 17).

Tabelle 2: Anzahl der Flächeneinrichtungen im Trittsteinbiotope-Programm je Bundesland (Stand: 10.01.2025).

Bundesland	Anzahl Flächeneinrichtungen
Burgenland	74
Kärnten	28
Niederösterreich	143
Oberösterreich	44
Salzburg	8
Steiermark	116
Tirol	12
Vorarlberg	8
GESAMT	433

Aufgrund der beschriebenen Ansprüche an ein Trittsteinbiotop mussten zahlreiche Flächen als ungeeignet abgelehnt werden. Die wesentlichen Gründe hierfür waren Flächen, die entweder die Mindestanforderungen

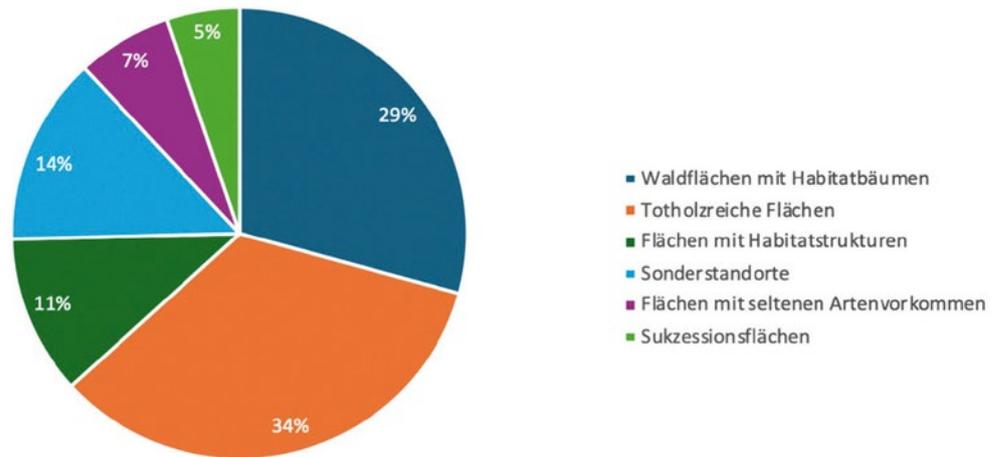


Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der Flächeneinrichtungen im Trittsteinbiotope-Programm auf die Schwerpunktthemen (Stand: 10.01.2025)

der Themenschwerpunkte (z.B. Totholzmenge, Anzahl an Habitatbäumen) oder die Mindestgröße (z.B. stark zergliederte und zu kleine Flächen) nicht erfüllten. Auch Meldungen von Flächen in Objektschutz- oder Bannwäldern konnten aufgrund forstrechtlicher Bestimmungen nicht berücksichtigt werden. Flächen mit einem drohenden Borkenkäferbefall wurden abgelehnt, um Konflikte mit gesetzlich vorgeschriebenen Bekämpfungsmaßnahmen zu vermeiden. Darüber hinaus haben einige Waldeigentümer ihre Flächenmeldungen zurückgezogen – bedingt durch sich ändernde Bedingungen oder persönliche Gründe. Zusätzlich wurden einige Fehl- und Doppelmeldungen identifiziert und in der Datenbank bereinigt (siehe Abbildung 18).

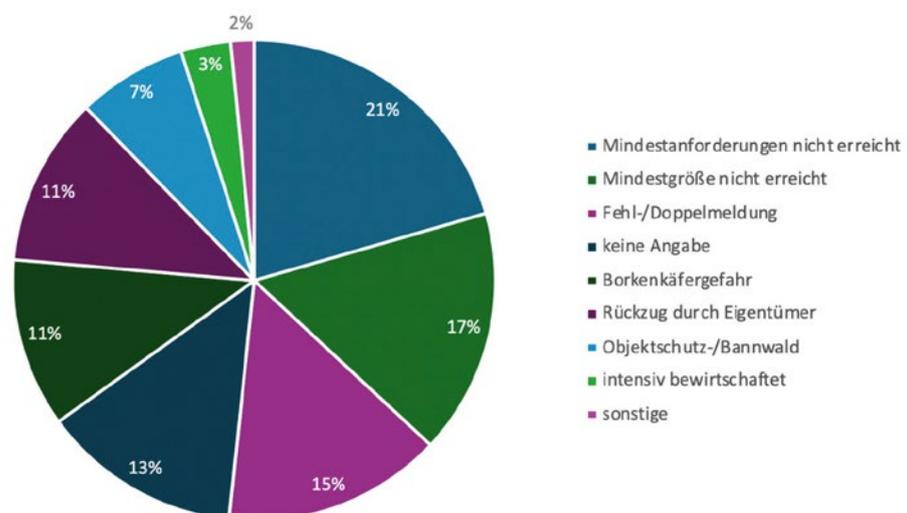


Abbildung 18: Prozentualer Anteil der Gründe für die Ablehnung einer gemeldeten Fläche als Trittsteinbiotop in Kategorien.

Erhebungen und Kartierungen

Zur Dokumentation der Waldentwicklung und für wissenschaftliche Untersuchungen wurden in jedem Trittsteinbiotop Standarderhebungen zur Waldstruktur sowie Vegetationskartierungen durchgeführt. Pro Hektar wurde ein Erhebungspunkt eingerichtet. Die Standarderhebung der Waldstruktur erfolgte innerhalb eines Probekreises mit einem Radius von 9,77 m (Fläche: 300 m²). Die Positionierung des Probekreises erfolgte so, dass Randeinflüsse (z.B. durch angrenzende Nutzungsflächen) minimiert werden.

Erfasst wurden Informationen, die zum Zeitpunkt der Probenahme direkt beobachtbar sind. Dazu zählen die Baumartenzusammensetzung, Insektenfraßspuren an Bäumen, das Vorkommen von mehrjährigen Pilzgruppen und Flechtengruppen an Probebäumen und Spuren von Wirbeltieren auf der Probefläche. Zusätzlich zu den direkten Beobachtungen wurden Parameter zur Charakterisierung der Fläche (z.B. Hangneigung, Exposition, Seehöhe, Topografie), des Bodens (z.B. Bodentiefe, Humusform, Horizontmächtigkeit, Bodenfeuchte) und der Waldstruktur erfasst. Sogenannte „Struktur-Indikatoren“, wie die vertikale und horizontale Bestandesstruktur, Baummikrohabitate, sowie Totholzmenge und -qualität, liefern darüber hinaus wertvolle Einblicke in die Biodiversität.

Die Vegetationskartierung wurde in homogenen Waldflächen anhand einer repräsentativen Probefläche für das gesamte Trittsteinbiotop durchgeführt. Sie ist an die Waldstruktur-Erhebung gekoppelt und in 15 m Distanz zum Probekreis der Strukturhebung angelegt. Auf einer Fläche von 20 x 20 m (Fläche: 400 m²) werden alle Pflanzenarten und deren Deckungsgrad nach der Braun-Blanquet-Skala erfasst. Bei stark variierenden Standortbedingungen (z.B. durch Expositionswechsel) wurde eine weitere Probefläche angelegt. Ergänzend wurde auf einer Teilfläche der Vegetations-Probefläche die mehrjährige Baumartenverjüngung erhoben, eine 2,24 x 2,24 m Probefläche für Verjüngung mit einer Höhe von unter 50 cm und eine 5 x 5 m Probefläche für Verjüngung mit einer Höhe von über 50 bis 130 cm.

Zusätzlich zu den regulär durchgeführten Standarderhebungen fanden auf ausgewählten Trittsteinbiotopen hypothesengeleitete Intensivuntersuchungen statt. Im Rahmen des Projektes ConnectForBio konzentrieren sich diese Untersuchungen auf waldbewohnende Arten verschiedener taxonomischer Gruppen. Das Untersuchungsgebiet liegt im Herzen Österreichs und fokussiert sich auf Trittsteinbiotope, die zur Vernetzung zwischen den Großschutzgebieten der Nationalparks Kalkalpen und Gesäuse beitragen sollen.

Die Kombination aus systematischen Erhebungen und thematischen Forschungsschwerpunkten liefert wertvolle Erkenntnisse zur ökologischen Bedeutung der Trittsteinbiotope. Konkret tragen die Untersuchungen dazu bei, Trittsteinbiotope hinsichtlich ihrer Funktion zur Vernetzung von Lebensräumen zu bewerten, Naturschutzeffekte besser zu verstehen und nachhaltige Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität zu entwickeln.

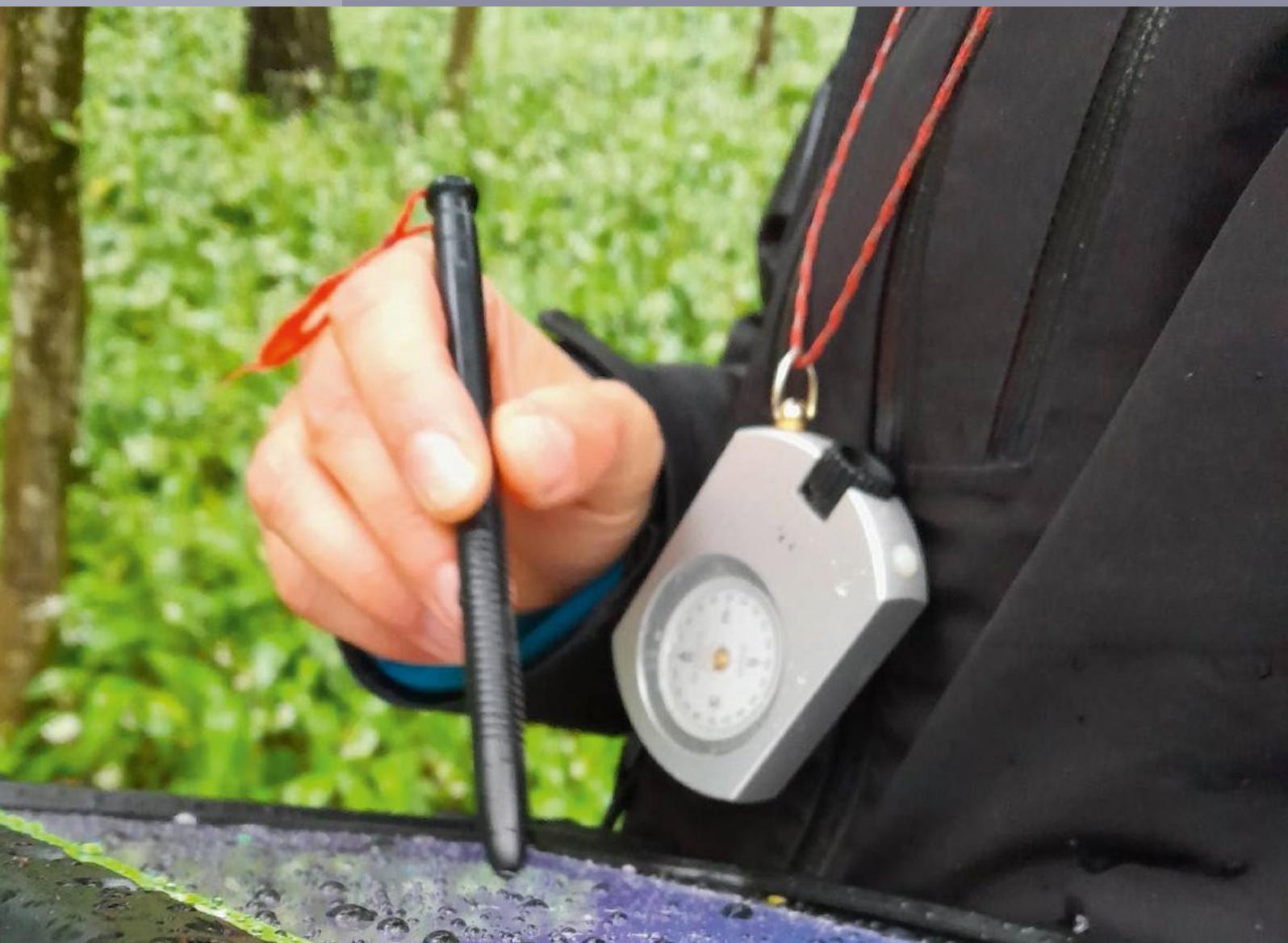
LITERATURTIPP:

Erhebungsmethoden des Österreichischen Trittsteinbiotope-Programms

https://www.zobodat.at/pdf/VZBG_160_0232-0233.pdf



Forschungsschwerpunkt Trittsteinbiotope



Einleitung

Ein Großteil der Projekte zur ökologischen Vernetzung in Europa konzentriert sich auf Korridore, während andere Strukturen der Vernetzung, wie Trittsteinbiotope, bislang vergleichsweise wenig untersucht wurden. Das ConnectForBio-Projekt adressiert diese Forschungslücke, indem es neu etablierte Trittsteinbiotope in der Landschaftsmatrix untersucht. Die Trittsteinbiotope wurden eingerichtet, um potenziell als temporäre Lebensräume und Rückzugsorte für eine Vielzahl von Arten zu dienen. Lebensräume überlappen selten für alle taxonomische Gruppen da unterschiedliche Arten verschiedene Ansprüche und Ausbreitungsdistanzen haben. Selbst innerhalb waldbewohnender Arten und Artengruppen mit ähnlichen Funktionen, wie Zersetzer von Streu und Totholz, ist die Vielfalt der ökologischen Ansprüche hoch. Dies führt dazu, dass verschiedene Arten unterschiedliche Gebiete für ihre Ausbreitung und zur Vernetzung von Lebensräumen benötigen.

Monitoringprogramme erfordern eine Ausgangsbasis oder einen Referenzwert, um Veränderungen und Entwicklungen im Laufe der Zeit bewerten zu können. In Waldökosystemen eignen sich naturnahe, unbewirtschaftete oder urwaldähnliche Wälder als ideale Referenzflächen. Sie ermöglichen Vergleiche mit bewirtschafteten oder kürzlich außer Nutzung gestellten Wäldern. Neben der Erfassung von Artvorkommen und Artenvielfalt werden auch deren Einflussfaktoren untersucht. Ziel ist es, ein umfassendes Verständnis des Zustands der Ökosysteme zu gewinnen, langfristige Trends zu analysieren, die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität zu bewerten und potenziell wichtige Gebiete für die Vernetzung zu identifizieren.

Die Forschungsbemühungen im ConnectForBio-Projekt konzentrieren sich auf eine Region und ausgewählte taxonomische Gruppen, wie Gefäßpflanzen, Pilzarten, xylobionte Käfer, oder Waldvogelarten. Diese Fokussierung ermöglicht es, spezifische Forschungsfragen zu beantworten und die gewonnenen Erkenntnisse in größere Fragestellungen zur Charakterisierung der Waldbiodiversität zu integrieren.

Das ConnectForBio - Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich im Herzen Österreichs über eine Fläche von 1.500 km², an der Grenze zwischen den Bundesländern Oberösterreich, Niederösterreich und der Steiermark. Es umfasst insgesamt 40 Untersuchungsflächen und liegt eingebettet in die beeindruckende Landschaft der nördlichen Kalkalpen, zwischen den Nationalparks Kalkalpen und Gesäuse (siehe Abbildung 19). 23 dieser Flächen befinden sich innerhalb der Nationalparks, sind weitestgehend unberührt und dienen als nicht bewirtschaftete Referenzflächen. 15 der verbleibenden Flächen liegen angrenzend außerhalb der Nationalparks und wurden kürzlich als Tritt-

steinbiotopie außer Nutzung gestellt. Die übrigen 2 Flächen befinden sich in bewirtschafteten Wäldern, in denen in den letzten Jahren wiederholt forstliche Eingriffe vorgenommen wurden.

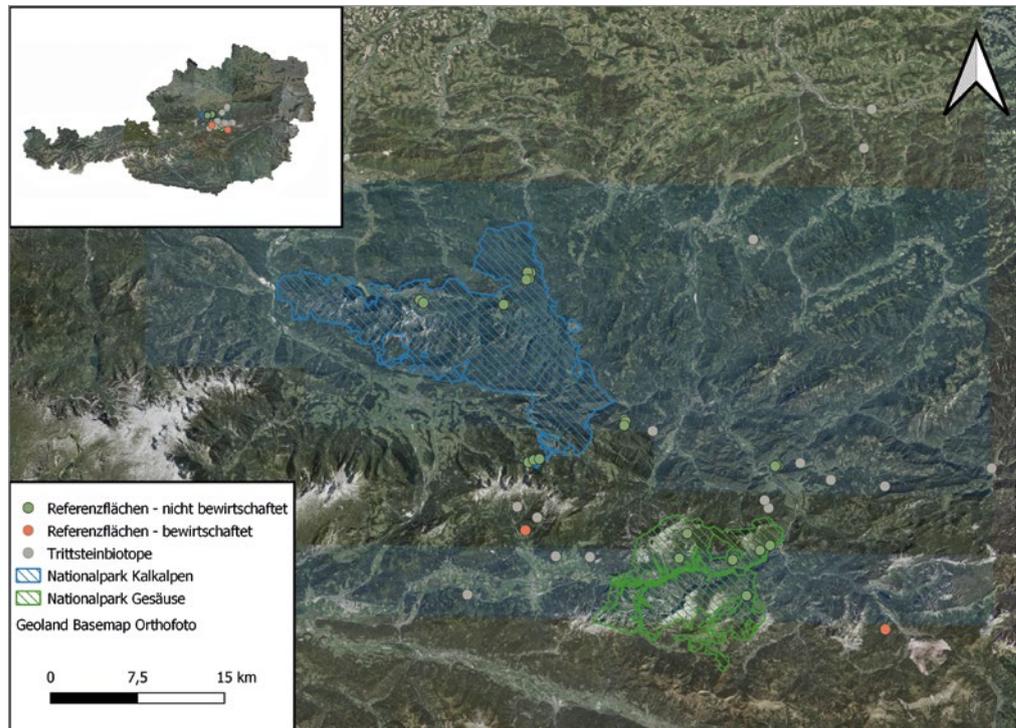


Abbildung 19: Das Untersuchungsgebiet mit den nicht bewirtschafteten Referenzflächen in grün, den bewirtschafteten Referenzflächen in orange und den Trittsteinbiotopie in grau. Die blaue Fläche zeigt den Nationalpark Kalkalpen und die grüne Fläche den Nationalpark Gesäuse.

Die dominierenden Waldtypen in diesem Gebiet sind Fichten-Tannen-Buchenwälder mit einem Anteil von 67%, gefolgt von Buchenwäldern mit 17%, Ahornwäldern mit 8%, montanen Fichtenwäldern mit 5% und Ahorn-Eschenwäldern mit 3%. Die Untersuchungsflächen erstrecken sich über einen Höhengradienten von 486 bis 1.421 m Seehöhe (siehe Tabelle 3). Innerhalb dieser Region befinden sich sowohl die sub- bis tiefmontanen Höhenstufen als auch Bereiche der hochmontanen und subalpinen Höhenstufen. In den nördlichen Randalpen tritt der höchste Niederschlag im Monat Juli auf, gefolgt von einem weiteren Maximum in den Wintermonaten. Die jährliche Niederschlagsmenge variiert zwischen einem Minimum von 1.257 mm und einem Maximum von 2.084 mm, mit einem Median von 1.524 mm.

Tabelle 3 zeigt Kennzahlen zur Waldstruktur auf den Untersuchungsflächen. Die Grundfläche aller Bäume auf den Untersuchungsflächen variiert zwischen 20,4 und 114,0 m² pro Hektar (Median: 40,7 m² pro Hektar). Das Volumen des liegenden Totholzes reicht von 0 bis 444 m³ pro Hektar (Median: 68 m³ pro Hektar). Der Artenreichtum der krautigen Vegetation auf den Untersuchungsflächen liegt zwischen 12 und 84 Arten (Median: 39 Arten), und die Bodentiefe reicht von 15 cm bis über 100 cm (Median: 65 cm).

Tabelle 3: Deskriptive Statistiken der Flächen im ConnectForBio-Untersuchungsgebiet.

Plot Anzahl	Höhenlage (m ü NN)	mittlerer Jahresniederschlag (mm)	Grundfläche (m ² ha ⁻¹)	liegendes Totholzvolumen (m ³ ha ⁻¹)	Krautige Vegetation Artenzahl	Bodentiefe (cm)
39	Max	1421	114,0	444	84	100+
	Median	872	40,7	68	36	65
	Min	486	1257	20,4	0	15

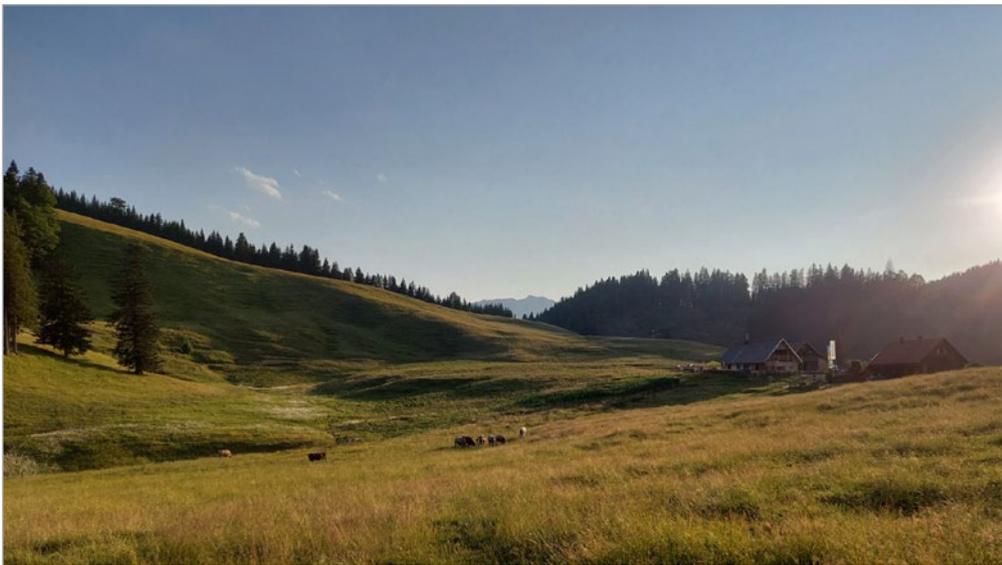


Abbildung 20: Abendstimmung auf der Ebenforstalm im Zentrum des Untersuchungsgebiets (Foto: BFW/Bradley).

Intensivuntersuchungen

Die Vielfalt und mögliche Indikatorarten der Vegetation

Einleitung

Wälder sind in ihrer Vegetations- und Artenzusammensetzung sehr divers, das Vorkommen von bestimmten Arten hängt von mehreren Faktoren wie Feuchtigkeit, Bodenzusammensetzung, pH-Wert, Höhenstufen und Lichteinfall ab. Arten, die ähnliche Standortbedingungen bevorzugen, treten häufig, je nach Verbreitungsareal, gemeinsam in Pflanzengesellschaften auf. Die Grenzen zwischen solchen Pflanzengesellschaften können oft gradueller Natur und/oder kleinräumig verzahnt sein, und so ist die Zuordnung oft nicht ganz eindeutig durchführbar. Ein Mosaik an Kleinstrukturen schafft unterschiedliche Standortbedingungen, die oft nicht nur den Anforderungen einer einzigen spezifischen Gesellschaft entsprechen.

Die Vielfalt der Vegetation auf Trittsteinbiotopen

Für die drei artenreichsten Flächen konnten wir nach Willner & Grabherr 2007 folgende pflanzensoziologische Zuordnung treffen:

Das artenreichste Trittsteinbiotop mit 84 Pflanzenarten auf 400 m² ist ein Buchenwald bei Wildalpen im Gesäuse. Die Fläche liegt auf einem steilen, südlich exponierten Hang auf Kalkschutt und erinnert in ihrer Artenzusammensetzung an den Nordalpischen Karbonat-Alpendost-Fichten-Tannen-Buchenwald *Adenostylo-glabrae-Fagetum*. Wichtige Arten für die Einteilung in diese Gesellschaft sind der Kahle Alpendost (*Adenostyles glabra* (= *A. alpina*), siehe Abbildung 21, eine charakteristische Art skelettreicher Karbonatstandorte), sowie, wenn in großer Zahl vorhanden, das



Abbildung 21: Der Kahle Alpendost *Adenostyles glabra* (Foto: BFW/Steiner).



Abbildung 22: Die Schneerose *Helleborus niger* (Foto: BFW/Amon).

Bunt-Reitgras (*Calamagrostis varia*). Weiters wurden auf der Fläche Halblichtpflanzen, wie der gewöhnliche Echt-Dost (*Origanum vulgare*) und der Wirbeldost (*Clinopodium vulgare*) festgestellt.

Die zweite sehr artenreiche Fläche ist, mit 81 Arten, ein nordwestlich exponierter Fichten-Tannen-Buchenwald, nicht weit von der artenreichsten Fläche entfernt. Der Boden ist basenreich und lehmig, sowie pflanzensoziologisch dem Schneerosen-Buchenwald *Helleboro-nigri-Fagetum* nahe. Wichtige Arten in dieser Gesellschaft sind die Schneerose (*Helleborus niger*; siehe Abbildung 22) sowie der Echte Seidelbast (*Daphne mezereum*). Beigemischt sind auf dieser Fläche Säurezeiger wie das Schattenblümchen (*Maianthemum bifolium*) und das Wald-Reitgras (*Calamagrostis arundinacea*).

Die dritte artenreiche Fläche ist ein grobblockiger Ahorn-Eschenwald entlang eines Baches auf Dolomit (kalkhaltig), mit 73 Arten auf der 400 m² Untersuchungsfläche. Aufgrund der bunt gemischten Artenzusammensetzung lässt sich die Fläche nicht eindeutig einer Gesellschaft zuordnen. Es sind Anteile der feuchten Bergahorn-Eschenwälder vorhanden, mit dem Vorkommen von einigen lichtliebenden, sowie kalkliebenden Arten aus den Buchenwäldern. Auch Säurezeiger bleiben nicht aus. Eine lichtliebende Art ist z.B. die Gelb-Betonie (*Betonica alopecurus*), ein Auflichtungszeiger ist die Tollkirsche (*Atropa belladonna*; siehe Abbildung 23), ein Säurezeiger ist das Schattenblümchen (*Maianthemum bifolium*), sowie ein Kalkzeiger die Weiß-Segge (*Carex alba*).

Flächen mit einer hohen Artenvielfalt weisen häufig einen kalkhaltigen Untergrund auf. Das ist auf evolutionsbedingte Prozesse zurückzuführen, da in Österreich allgemein mehr kalkliebende als kalkmeidende Arten



Abbildung 23: Die Tollkirsche *Atropa belladonna* (Foto: BFW/Amon).

vorkommen. Zusätzlich können an Kalkstandorten auch versauerte Kleinbereiche entstehen, wie z.B. durch die Bildung von Roh-Humus, was wiederum das Artenspektrum eines Standortes erhöht. Ein hoher pH-Wert im Boden ist pflanzenphysiologisch eine Herausforderung, weshalb der Konkurrenzdruck abnimmt und mehrere Arten auf einer Fläche vorkommen können. Dieses Prinzip gilt ähnlich auf süd-exponierten, trockenen sowie auf nährstoffarmen Standorten. In solchen Habitaten sind Wasser und Nährstoffe als lebenswichtige Ressourcen limitiert, weshalb die Konkurrenz sinkt. Begrenzte Ressourcen verhindern, dass eine

einzelne Art den gesamten Lebensraum für sich beansprucht, was eine Koexistenz verschiedener Arten erlaubt. Auch Licht ist in vielen Wäldern eine limitierende Ressource, daher können Lücken in den Baumkronen das Artenspektrum eines Waldes maßgeblich beeinflussen. Abbildung 24 zeigt die Artenvielfalt aller ConnectForBio Trittsteinbiotope in Österreich.

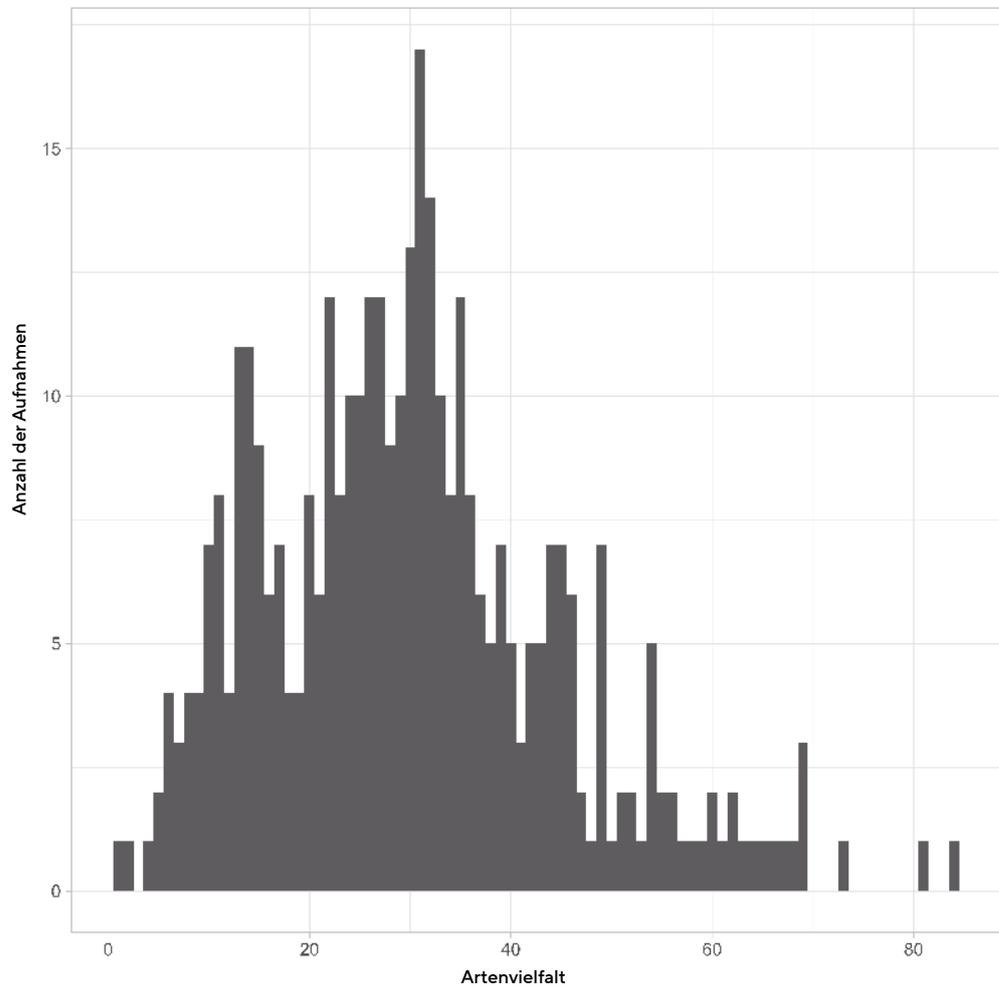


Abbildung 24: Artenvielfalt aller Vegetationserhebungen in Trittsteinbiotopen.

Im Untersuchungsgebiet konnten acht Arten der Roten Liste gefährdeter Pflanzen nachgewiesen werden, darunter der Frauenschuh (*Cypripedium calceolus*), der Hirschzungenfarn (*Asplenium scolopendrium*) sowie die Tauben-Skabiose (*Scabiosa columbaria*) (siehe Abbildung 25). Der Frauenschuh ist eine Orchideen-Art, die in lichten Wäldern auf Kalk wächst. Aufgrund seiner Schönheit wurde er in der Vergangenheit häufig für Blumensträuße gepflückt, was – neben dem Lebensraumverlust – eine der Hauptursachen für seine Gefährdung darstellt. Der Hirschzungenfarn ist eine Charakterart der Ahorn-Schluchtenwälder auf Kalk. Die Tauben-Skabiose kommt in den Alpen und Voralpen meist auf kalkreichen, lehmigen Magerrasen vor, sie ist sehr gut an trockene Bedingungen angepasst.



Abbildung 25: Der Frauenschuh (*Cypripedium calceolus*) (Foto: Bernd Tobler), der Hirschzungenfarn (*Asplenium scolopendrium*) (Foto: BFW/Amon), und die Tauben-Skabiose (*Scabiosa columbaria*) v.l.n.r. (Foto: BFW/Amon).

Orchideen

Insgesamt gibt es in Österreich 82 Orchideenarten, -unterarten und -varietäten. Vertreter dieser Pflanzenfamilie stehen meist zerstreut bis vereinzelt mit zum Teil großen Abständen zueinander. Diese Verteilung stellt für die Bestäubung ein großes Hindernis dar, bietet jedoch auch Vorteile, indem es für Pflanzenfresser schwierig ist, sich auf Orchideen als Nahrungspflanzen zu spezialisieren.

Die Samen der Orchideen werden je Fruchtknoten in großer Zahl produziert, sind jedoch winzig und enthalten kein Nährgewebe. Daher sind sie auf die symbiotische Beziehung mit Mykorrhiza-Pilzen im Boden angewiesen, die ihnen Wasser und Nährstoffe zur Verfügung stellen. Viele Orchideen sind kalkliebend. Durch die Spezialisierung auf Standorte mit erschwerten Bedingungen minimiert sich der Konkurrenzdruck und damit das Risiko, überwachsen zu werden.

Orchideen treten oft an artenreichen Standorten auf, da diese durch die dort vorherrschenden Bedingungen begünstigt werden. Aus diesem Grund gelten Orchideen häufig als Indikatorarten für einen hohen Artenreichtum in der Vegetation. Das zeigt sich auch in den Aufnahmen der Trittsteinbiotop; Flächen mit einer höheren Gesamtartenvielfalt der Vegetation wiesen gleichzeitig ein signifikant höheres Vorkommen von Orchideen auf (siehe Abbildung 26). Auf den Trittsteinbiotopen in ganz Österreich wurden 14 Orchideenarten auf 67 Flächen gefunden. Innerhalb des ConnectForBio-Untersuchungsgebietes konnten zehn verschiedene Orchideenarten nachgewiesen werden.

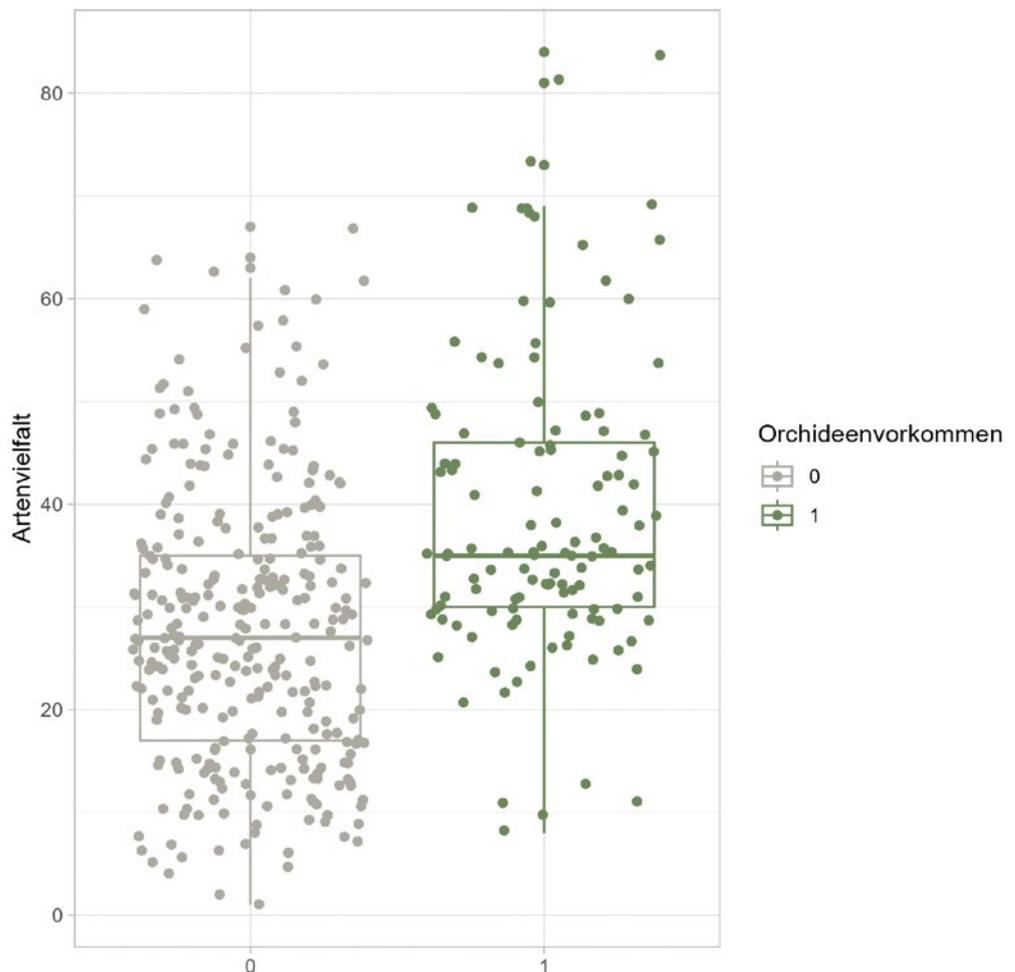


Abbildung 26: Gesamtartenvielfalt der Vegetation einer Fläche (y-Achse) bei gleichzeitigem Vorkommen von Orchideen (0= kein Vorkommen, 1=bestätigtes Vorkommen).

Altwaldarten

Altwaldarten sind eine spezielle Gruppe von Pflanzenarten, die unter anderem aufgrund ihrer limitierten Ausbreitungsfähigkeit und ihrer Standortansprüche an alte, lang bestehende Wälder gebunden sind. Ihr Vorkommen weist darauf hin, dass ein Standort bereits über einen langen Zeitraum als Wald existiert. Sie werden daher gern als Indikatoren für die Kontinuität von Wäldern herangezogen.

Die Spezialisierung dieser Arten auf historisch alte Wälder unterstreicht die Bedeutung der Erhaltung und des Schutzes dieser Wälder, um das gesamte Artenspektrum der Waldvegetation zu erhalten. Auf den Trittsteinbiotopen konnten insgesamt 63 von 132 Altwaldarten (nach Hermy et al. 1999) nachgewiesen werden, darunter die Ährige Teufelskralle (*Phyteuma spicatum*), die Vierblättrige Einbeere (*Paris quadrifolia*) und die Zweiblättrige Schatzenblume (*Maianthemum bifolium*) (siehe Abbildung 27).



Abbildung 27: Die Åhrige Teufelskralle (*Phyteuma spicatum*), die Vierblättrige Einbeere (*Paris quadrifolia*) und die Zweiblättrige Schattenblume (*Maianthemum bifolium*) v.l.n.r. (Fotos: BFW/Amon)..

Pilzdiversität - Auf Schwammerlsuche in Trittsteinbiotopen der Nördlichen Kalkalpen

Einleitung

Pilze zählen zu einer der artenreichsten Organismengruppen der Erde und erfüllen speziell in Wäldern wichtige ökologische Funktionen. Als Zersetzer besitzen zahlreiche Pilzarten die Fähigkeit zum Abbau von Holz, Streu oder Humus, und sind somit ein unverzichtbarer Bestandteil der Nährstoffkreisläufe. Da außer Pilzen nur einige Bakterien Holz abbauen können, nehmen speziell totholzbesiedelnde Pilze eine zentrale Funktion in Wäldern ein. Andere Pilzarten treten als Mykorrhiza-Pilze mit Pflanzenwurzeln in Symbiose und unterstützen so die Pflanzen bei der Aufnahme von Nährstoffen und Wasser. Dadurch beeinflussen Mykorrhiza-Pilze nicht nur das Wachstum von Bäumen, sondern können zusätzlich zum Schutz vor Wurzelparasiten beitragen.

Immer mehr Faktoren führen dazu, dass viele Pilzarten selten geworden und mittlerweile auf der Roten Liste für bedrohte Arten verzeichnet sind. So ist es neben den Auswirkungen des Klimawandels und eines verstärkten Nährstoffeintrages vor allem der Verlust geeigneter Lebensräume, der Pilze unter Druck setzt. Viele Pilzarten sind zum Beispiel auf bestimmte Standortbedingungen und Substratverhältnisse angewiesen, wie zum Beispiel naturnahe Wälder mit sehr alten Bäumen und ausreichend hochwertigem Totholz. Die Einrichtung von Trittsteinbiotopen außerhalb von Schutzgebieten kann daher eine wichtige Rolle spielen, um seltenen Pilzarten als Rückzugsort zu dienen und zur Vernetzung hochwertiger Lebensräume beizutragen.

In diesem Kapitel werden Ergebnisse aus Untersuchungen zur Pilzdiversität in neu eingerichteten Trittsteinbiotopen sowie in Referenzflächen bereits

bestehender Naturschutzgebiete vorgestellt, mit dem Ziel einen ersten Überblick zum Wert von Trittsteinbiotopen für den Pilzschutz zu erlangen.

Methodik

Die Erhebung der Pilzdiversität erfolgte im September und Oktober 2022 auf allen 40 Flächen des ConnectForBio-Untersuchungsgebiets durch einen Pilzexperten der Österreichischen Mykologischen Gesellschaft. Analog zu den Vegetationserhebungen wurden auf einer 20 x 20 m (= 400 m²) Probefläche alle mit dem Auge sichtbaren Pilzarten am Boden, auf krautigen und holzigen Pflanzen, und auf liegendem und stehendem Totholz erfasst. Pilze, die nicht mit Sicherheit bestimmt werden konnten, wurden zur späteren Nachbestimmung fotografiert oder gesammelt. Zusätzlich wurden Information zum Substrat der jeweiligen Funde notiert. Die somit erhobene Diversität entspricht den Großpilzen, also Pilzen, die sichtbare Fruchtkörper ausbilden. Zusätzlich dazu wurden aber auch mit dem Auge erkennbare Rostpilze, Schimmelpilze, anamorphe Rindenpilze und Schleimpilze aufgenommen.

Zur weiteren Auswertung wurden die erfassten Pilzarten in die folgenden drei wichtigen ökologischen Gruppen unterteilt:

- 1) Holzersetzer Pilze,
- 2) Mykorrhiza-Pilze und
- 3) bodenbewohnende Streu- und Humuszersetzer.

Die Einordnung in die ökologischen Gruppen erfolgte gemäß der Information aus der Roten Liste der Pilze Österreichs. Für Arten ohne Eintrag in der Roten Liste erfolgte die Einteilung gemäß der Expertise des Pilzexperten. Pilze, die keiner der drei ökologischen Gruppen zugeordnet werden konnten (zum Großteil Blattparasiten), wurden als „Andere Pilze“ angeführt. Zusätzlich wurden alle Pilzarten, die in der Roten Liste mindestens als „potenziell gefährdet“ eingestuft sind, als gefährdete Rote-Liste-Arten vermerkt.

Pilzdiversität und Häufigkeit der Pilzarten im Untersuchungsgebiet

Insgesamt wurden auf den 40 Untersuchungsflächen (15 Trittsteinbiotope, 23 Referenzflächen in Naturschutzgebieten, 2 bewirtschaftete Referenzflächen) 1.872 Pilzfunde auf Artniveau bestimmt (siehe Tabelle 4). Die Pilzfunde umfassen 596 verschiedene Arten, darunter 77 Arten, die auf der Roten Liste der Pilze Österreichs stehen. Die holzsetzenden Pilze machen mit 51% (302 Arten) den größten Teil der erfassten Pilzvielfalt aus, gefolgt von den Mykorrhiza-Pilzen mit 30% (181 Arten) und den bodenbewohnenden Streu- und Humuszetzern mit 15% (90 Arten). Lediglich 4% (23 Arten) konnten keiner der drei Gruppen zugewiesen werden. Innerhalb der Rote-Liste-Arten zeigt sich eine ähnliche Verteilung: Holzsetzer Pilze machen 53% (51 Arten), Mykorrhiza-Pilze 29% (22 Arten) und Streu- und Humuszersetzer 18% (14 Arten) der gefundenen Rote-Liste-Arten aus.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Pilzdiversität aller Arten und der Rote-Liste-Arten im ConnectFor-Bio-Untersuchungsgebiet.

	Holzzeretzende Pilze	Mykorrhiza-Pilze	Streu- und humuszersetzer Pilze	Andere Pilze	Gesamt
Alle Arten					
Pilzfunde	935	609	253	75	1872
Artenzahl	302	181	90	23	596
Anteil an Gesamtartenzahl (%)	51	30	15	4	100
Artenzahl pro Untersuchungsfläche [Mittelwert (Standardabweichung; Spannweite)]	23,48 (8,08; 3 - 39)	15,23 (8,05; 0 - 36)	6,33 (3,80; 0 - 17)	1,88 (1,50; 0 - 5)	46,80 (13,49; 18 - 71)
Die fünf häufigsten Arten (Anzahl der Funde)	<i>Chlorociboria aeruginascens</i> (28), <i>Calycina citrina</i> (24), <i>Hypoxylon fragiforme</i> (19), <i>Diatrype decorticata</i> (18), <i>Fomes fomentarius</i> (18)	<i>Hygrophorus eburneus</i> (26), <i>Laccaria amethystina</i> (26), <i>Entoloma rhodopolium</i> (20), <i>Lactarius pallidus</i> (20), <i>Tomentella subliilacina</i> (19)	<i>Clavulina coralloides</i> (16), <i>Lycoperdon perlatum</i> (13), <i>Lophodermium abietis</i> (12), <i>Mycena rosea</i> (10), <i>Clitocybe phaeophthalma</i> (9)	<i>Coniothyrium hellebori</i> (16), <i>Rhytisma acerinum</i> (15), <i>Coleosporium cacaliae</i> (10), <i>Cercospora mercurialis</i> (4), <i>Coleosporium senecionis</i> (3)	
Rote-Liste-Arten					
Pilzfunde	63	30	23	0	116
Artenzahl	41	22	14	0	77
Anteil an Gesamtartenzahl (%)	53	29	18	0	100
Artenzahl pro Untersuchungsfläche [Mittelwert (Standardabweichung; Spannweite)]	1,58 (1,34; 0 - 5)	0,75 (0,97; 0 - 4)	0,58 (0,77; 0 - 3)	0	2,90 (1,93; 0 - 8)
Die drei häufigsten Arten (Anzahl der Funde)	<i>Dentipellis fragilis</i> (6), <i>Clavulicium macounii</i> (5), <i>Lobulicium occultum</i> (4)	<i>Cortinarius saturninus</i> (4), <i>Cortinarius bivelus</i> (3), <i>Byssoporia terrestris</i> (2)	<i>Lepiota fuscovinacea</i> (3), <i>Mycena diosma</i> (3), <i>Mycena mucor</i> (3)		

Bei der Betrachtung der Häufigkeit der einzelnen Pilzarten fällt auf, dass der überwiegende Teil der gefundenen Pilze im Studiengebiet sehr selten war. Während nur wenige Arten aus den ökologischen Gruppen weit verbreitet waren, traten fast die Hälfte aller Pilze lediglich auf einer einzigen Untersuchungsfläche auf (siehe Abbildung 28). Dazu sei erwähnt, dass die Pilzuntersuchung nur in einem Jahr durchgeführt wurde. Viele Pilze benötigen zur Ausbildung von Fruchtkörpern spezielle Bedingungen, die an den Standorten von Jahr zu Jahr variieren können. Es ist daher gut möglich, dass bei einer Beobachtung über mehrere Jahre hinweg einige Pilzarten auch in anderen Untersuchungsflächen nachgewiesen worden wären. Dennoch zeigt sich, dass selbst innerhalb ähnlicher Waldgesellschaften und Geologie

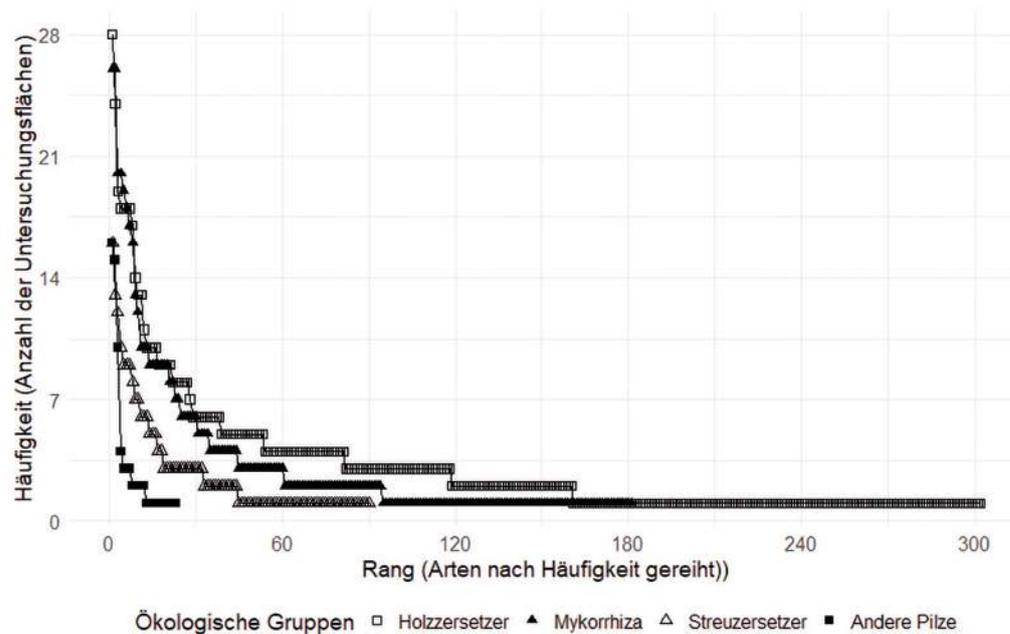


Abbildung 28: Pilzarten der verschiedenen ökologischen Gruppen gereiht nach der Häufigkeit ihres Vorkommens im ConnectForBio-Untersuchungsgebiet.

(hauptsächlich Fichten-Tannen-Buchen-Wälder über Kalk) viele Pilzarten regional recht selten sein können. Dies führt zu erheblichen Unterschieden in den Artenzusammensetzungen der verschiedenen Untersuchungsflächen. Ein breiteres Netzwerk an geeigneten Flächen für den Pilzschutz wäre von Vorteil.

Unterschiede der Pilzdiversität zwischen Referenzflächen und Trittsteinbiotopen

Der Vergleich der Artenzahlen zwischen Schutzgebieten, bewirtschafteten Referenzflächen und Trittsteinbiotopen zeigt weder für alle Arten noch für Rote-Liste-Arten signifikante Unterschiede (siehe Abbildung 29). Der Vergleich mit den bewirtschafteten Referenzflächen ist jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da nur zwei Untersuchungsflächen vorliegen. Auch diese Flächen zeigen relativ hohe Artenzahlen, insbesondere für Mykorrhiza-Pilze und Streu- und Humuszersetzer.

Andere Studien in ähnlichen Waldgesellschaften berichten über eine Verringerung der Artenzahlen in bewirtschafteten Wäldern, vor allem bei holzzersetzenden Pilzen. Die von uns untersuchten bewirtschafteten Referenzflächen enthielten jeweils zahlreiche Stümpfe, sowie stehendes und liegendes Totholz, teilweise in fortgeschrittenen Zersetzungsstufen, was als ideales Substrat für holzzersetzende Pilze dienen kann. Es ist möglich, dass das Belassen von ausreichend Totholz in den hier untersuchten Wäldern dazu beiträgt, dass die Artenzahlen der holzzersetzenden Pilze im Vergleich zu den anderen Flächen nicht signifikant abweichen.

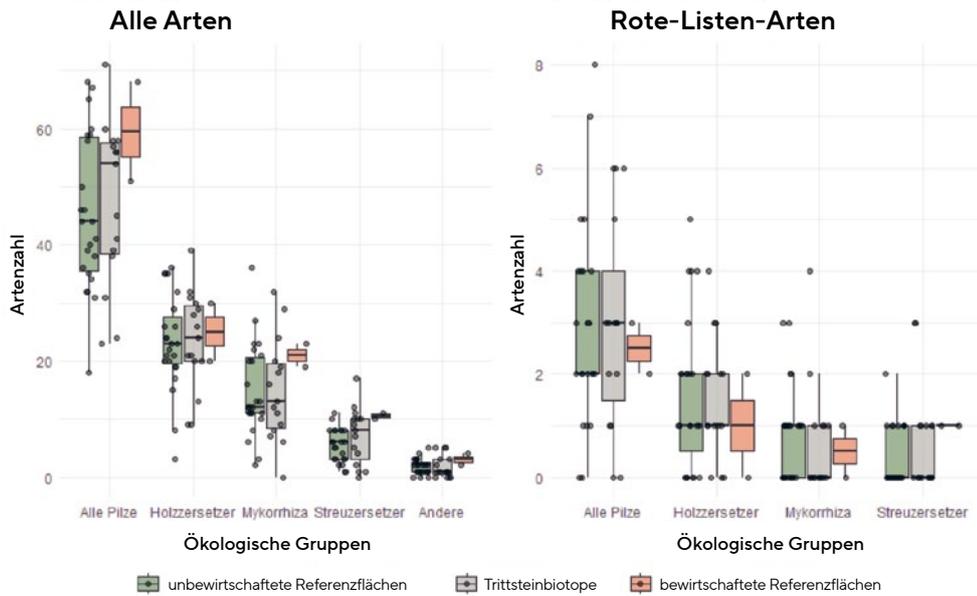


Abbildung 29: Artenzahlen für alle Arten und Rote-Liste Arten in nicht bewirtschafteten Referenzflächen (n=23), Trittsteinbiotopen (n=15) und Wirtschaftswäldern (n=2) für alle Arten und getrennt nach ökologischen Gruppen. Die Punkte repräsentieren Artenzahlen der einzelnen Untersuchungsflächen und die Box deren statistische Verteilung.

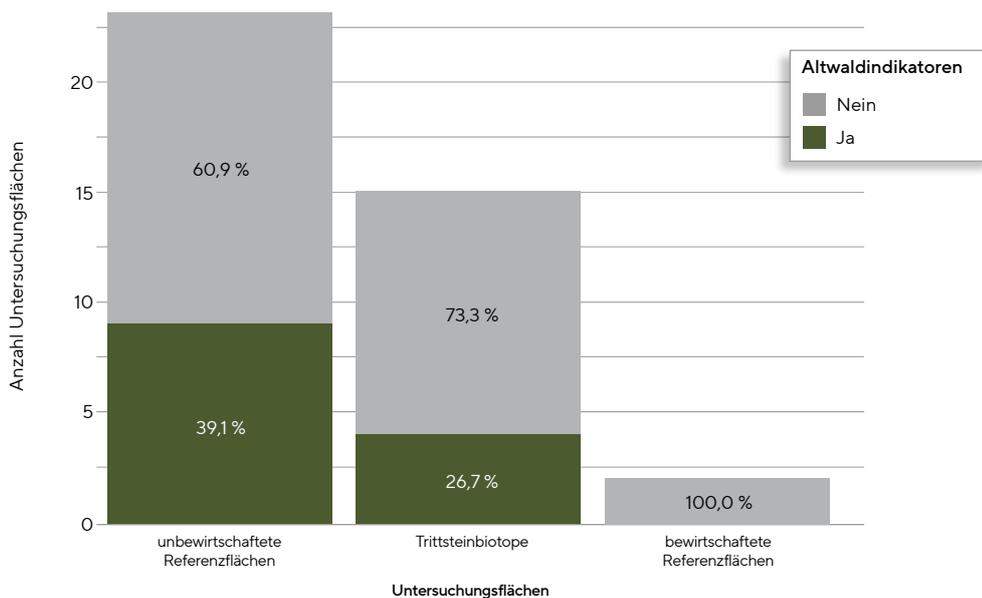


Abbildung 30: Anzahl und Anteil der Untersuchungsflächen mit beziehungsweise ohne Altwald-Indikatorarten in Schutzgebieten (n=23), Trittsteinbiotopen (n=13) und Wirtschaftswäldern (n=2).

Wichtige Altwald-Indikatorarten unter den Pilzen

Einige Pilzarten sind für ihr Überleben stark an naturnahe Wälder gebunden. Oft sind dies holzzeretzende Pilze, die eine ausreichende Versorgung mit stark dimensioniertem Totholz in fortgeschrittenen Zersetzungsstadien benötigen. Diese Bedingungen sind meist nur in Wäldern gegeben, die lange

Zeit nicht genutzt wurden, weshalb diese Arten als Indikatoren für Altwälder gelten können. Im gesamten Untersuchungsgebiet wurden insgesamt 15 Funde dieser Altwald-Indikatorarten, aufgeteilt auf sechs verschiedene Arten, registriert. Die Anzahl der Flächen mit Altwald-Indikatoren unterscheidet sich dabei nicht signifikant zwischen nicht bewirtschafteten Referenzflächen und Trittsteinbiotopen, was darauf hindeutet, dass Trittsteinbiotope hochwertige Lebensräume für anspruchsvolle Arten bieten können (siehe Abbildung 30). Auf 39% der Referenzflächen und 27% der Trittsteinbiotope wurden Altwald-Indikatoren gefunden, während in den beiden Wirtschaftswäldern keine entsprechenden Funde verzeichnet wurden.

Einige Altwald-Indikatorarten vorgestellt

Der Buchen-Stachelrindenpilz (*Dentipellis fragilis*) (siehe Abbildung 31) besiedelt hauptsächlich die Unterseite von Totholzstämmen, bevorzugt von Rotbuche, und ist durch seine stachelige Oberfläche gut zu erkennen. Dieser seltene und in Österreich gefährdete Pilz gilt als Zeigerart für naturnahe Buchen-Altwälder. Im Untersuchungsgebiet konnte der Pilz auf fünf Referenzflächen und in einem Trittsteinbiotop gefunden werden.



Abbildung 31: Der Buchen-Stachelrindenpilz *Dentipellis fragilis*. (Foto: Vojtech Tlaskal via iNaturalist CC-BY-NC 4.0. URL: <https://www.inaturalist.org/observations/34175135>).

Der Schmetterlingssporige Fleckenrindenpilz (*Lobulicium occultum*) ist ein unscheinbarer Pilz, der als weißliche, kleine Flecken auf oder im Inneren von großvolumigen, stark zersetzten Nadelholzstämmen vorkommt (siehe Abbildung 32). Er gilt in Österreich als stark gefährdet und daher als Charakterart urwaldartiger Nadelwälder. Mit bis dato weniger als 30 Funden österreichweit, ist er sehr selten. Im Untersuchungsgebiet konnte dieser besondere Pilz auf vier Flächen gefunden werden, darunter auch in einem Trittsteinbiotop.

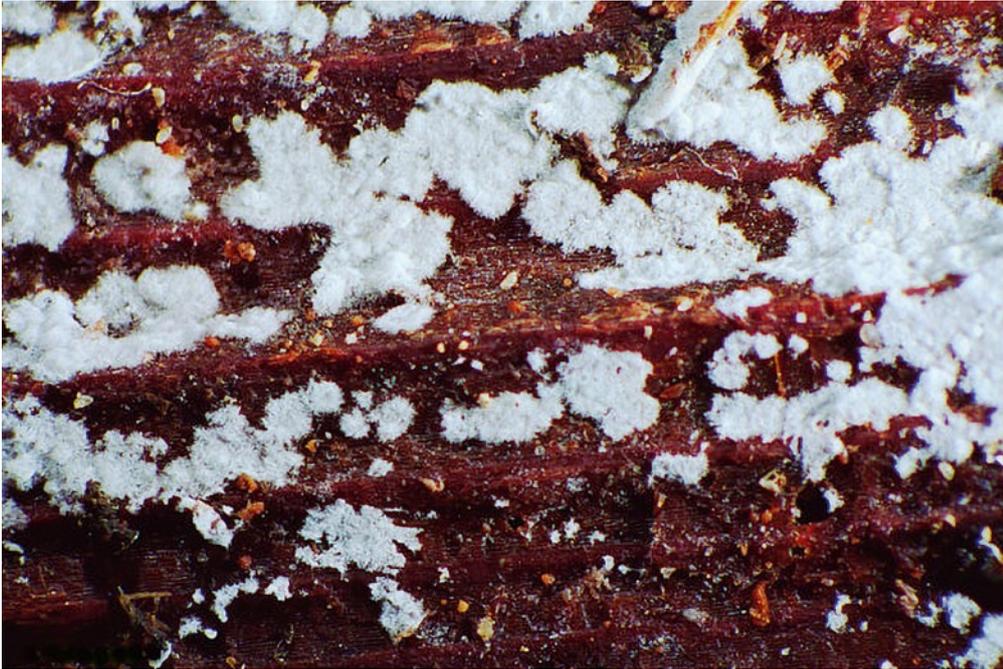


Abbildung 32: Schmetterlingssporiger Fleckenrindenpilz *Lobulicium occultum*
 (Foto: Martini E. CC-BY 4.0. URL: <https://www.aphyllo.net/spec.php?id=400>. 15.01.2025).

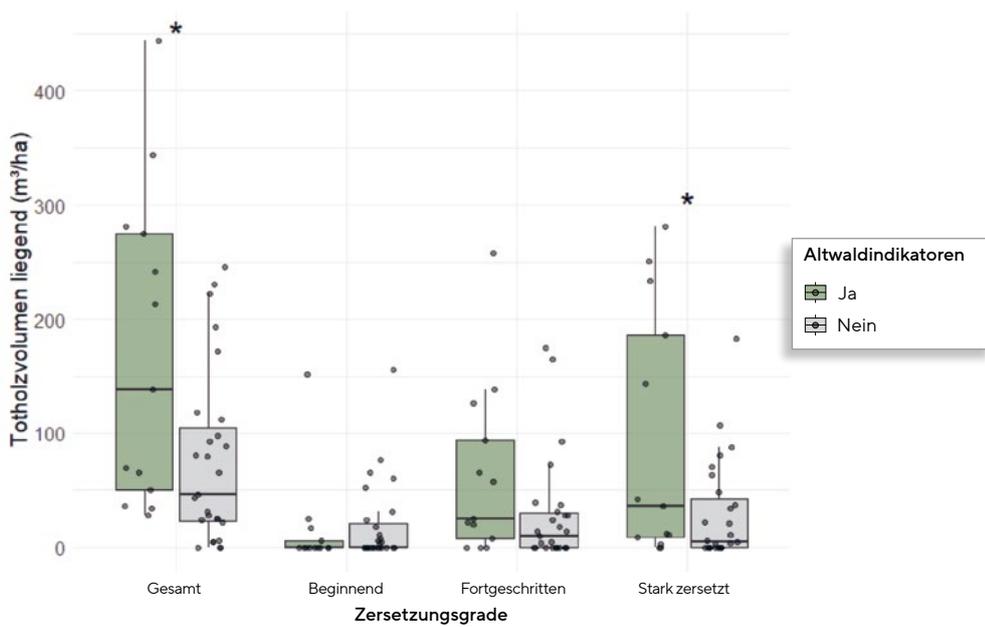


Abbildung 33: Liegendes Totholzvolumen in Wäldern mit (n=13) beziehungsweise ohne (n=27) Vor-
 kommen von Altwaldindikatorarten getrennt nach Zersetzungsgraden des Totholzes. Die Punkte
 repräsentieren Totholzvolumina der einzelnen Untersuchungsflächen und die Box deren statistische
 Verteilung. Sterne zeigen signifikante Unterschiede zwischen Wäldern mit beziehungsweise ohne
 Altwald-Indikatorarten an (Mann-Whitney-U-Test, $p < 0,05$).

Was zeichnet Wälder mit Altwald-Indikatorarten aus?

Um zu untersuchen, wodurch sich potenzielle Altwälder auszeichnen, wurden Totholzvolumina zwischen Flächen mit und ohne Vorkommen von Altwald-Indikatorarten verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass das Totholzvolumen in Wäldern mit Altwald-Indikatorarten signifikant höher ist, als in Wäldern ohne Altwald-Indikatorarten (siehe Abbildung 33). Interessanterweise zeigt das Volumen von Totholz in frühen Zersetzungsstufen in Wäldern mit Altwald-Indikatoren eine leichte, jedoch nicht signifikante Abnahme. Dies deutet darauf hin, dass nicht nur das Gesamtvolumen, sondern insbesondere die Menge an stark zersetztem Totholz für Altwald-Indikatorarten entscheidend ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Insgesamt konnten fast 600 Pilzarten nachgewiesen werden, darunter zahlreiche gefährdete Arten der Roten Liste. Ein Großteil der Arten kam im Untersuchungsgebiet nur ein einziges Mal vor. Auf den ausgewiesenen Trittsteinbiotopen wurde eine ähnlich hohe Artenvielfalt wie auf schon länger unter Schutz stehenden Referenzflächen verzeichnet. Zudem weisen die untersuchten Trittsteinbiotope einen ähnlich hohen Anteil an Flächen mit Altwald-Indikatorarten auf, die auf eine gewisse Naturnähe mit ausreichend und stark zersetztem Totholz hinweisen. Angesichts der regionalen Seltenheit vieler Arten und der scheinbar hohen Lebensraumqualität, können Trittsteinbiotope einen wertvollen Beitrag als Rückzugsorte für Pilzarten erfüllen. In einem nächsten Schritt soll ermittelt werden, welche Umwelteinflüsse die Verteilung der Pilzgemeinschaften im Untersuchungsgebiet beeinflussen. Um mögliche Neubesiedlungen und die Stabilität der Pilzgemeinschaften, vor allem in Bezug auf den Klimawandel, zu evaluieren, wäre es wichtig, ein längerfristiges Monitoring zu etablieren.



Xylobionte Käferarten – vielfältige Lebensraum-Spezialisten

Einleitung

Als totholzbewohnend oder xylobiont bezeichnet man jene Käfer, die in ihrem Entwicklungszyklus maßgeblich von verholzten Sprosssteilen von Bäumen oder Sträuchern abhängig sind. Hierzu zählen nicht nur Arten, die sich direkt von Holz ernähren, sondern auch jene, die für eine erfolgreiche Fortpflanzung von Holz oder an Holz lebenden Organismen abhängig sind. Unterteilt man xylobionte Käfer nach dem Substrat, an das sie gebunden sind, spricht man von sogenannten Substratgilden. Schmidl & Bußler (2004) unterscheiden nach folgenden Substraten: Frischholz, Altholz, Mulm, Holzpilze sowie Arten mit „Sonderbiologien“, die nur durch das Vorhandensein von Holz in diversen Zersetzungsstadien möglich werden. Köhler (2000) geht davon aus, dass mehr als die Hälfte der Käferarten, die in Wäldern leben, eine xylobionte Lebensweise haben. Unterschiedliche Käferarten haben sich auf Holz in verschiedensten Zersetzungsstadien, Alters- oder Feuchtigkeitsstufen spezialisiert. Je älter ein Wald ist, desto größer wird die Vielfalt dieser verschiedenen Substrate, daher wächst die Artenvielfalt xylobionter Käfer mit dem Alter eines Waldbestandes (Holzer et al. 2021). Wird ein Wald außer Nutzung gestellt, können sich durch die Alterung der Bäume diese natürlichen Habitate entwickeln. Eine Kenngröße, die die Vielfalt der Habitattypen messbar macht, ist die Anzahl der Substratgilden, auf die sich die xylobionten Käfer in einem Wald aufteilen. Zusätzlich gibt es äußerst schützenswerte „Indikator-Arten“, deren Habitatsansprüche sie besonders hoch sind. Diese und anderen Informationen ermöglichen die Bewertung von Standorten hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Biodiversität.

Trittsteinbiotope & Referenzflächen

Für die Untersuchung xylobionter Käfer wurden 20 Flächen im Connect-ForBio-Untersuchungsgebiet ausgewählt. Neben neun neu eingerichteten Trittsteinbiotopen wurden elf nicht bewirtschaftete Referenzflächen beprobt, die bereits längerfristig außer Nutzung gestellt sind.

Die Diversitätserhebung auf den 20 Untersuchungsflächen wurde in den Jahren 2023 und 2024 jeweils von Mitte Mai bis Ende August durchgeführt. Die Käfer wurden mittels unbeköderter Kreuzfensterfallen mit Prallflächen (81 x 31 cm H x B) aus transparentem Acryl (Plexiglas) gefangen (siehe Abbildung 34). Je Untersuchungsfläche wurden 2 Fallen im Abstand von mindestens 10 m zueinander an möglichst besonnten Positionen an etwa 2 m hohen Holzgestellen aufgehängt. Die Fallen waren für insgesamt 15 Wochen pro Jahr auf den Untersuchungsflächen exponiert und wurden in diesem Zeitraum alle 3 Wochen entleert. Die Käfer wurden morphologisch mit Hilfe entsprechender Bestimmungsliteratur identifiziert, wie z.B. „Die Käfer Mitteleuropas“ von Freude, Harde und Lohse (2009) und „Das Handbuch zur Bestimmung der europäischen Borkenkäfer“ von Grüne (1979). Da sich verschiedene xylobionte Käferarten hinsichtlich ihrer Mobilität stark voneinander unterscheiden, sei hier angemerkt, dass die gewählte Methode



Abbildung 34: Kreuzfensterfalle auf einer neu eingerichteten Trittsteinbiotop-Fläche (Foto: BFW/Neidel).

einen Einblick in das Vorhandensein von verschiedenen xylobionten Käfern liefert, aber keine vollständige Erfassung der vorkommenden Arten erlaubt.

Ergebnisse

Für die Familien Rüsselkäfer (*Curculionidae*), Bockkäfer (*Cerambycidae*) und Prachtkäfer (*Buprestidae*) wurden die Käfer bereits für beide Jahre vollumfänglich auf Art-Niveau bestimmt. Für alle übrigen Käferfamilien werden die Daten aus den ersten sechs Fangwochen (Kalenderwochen 20–26) beider Jahre präsentiert. Im Jahr 2023 wurden über 15 Wochen hinweg 4.402 Individuen aus 43 Familien mit xylobionter Lebensweise gefangen. 51 % der Individuen (aus 39 Käferfamilien) stammen aus den 9 Trittsteinbiotopen. Bereits in den ersten sechs Wochen wurden 82 % der Käfer gefangen, die 39 Käferfamilien repräsentieren. Das deutet darauf hin, dass die Ergebnisse aus diesem Zeitraum einen verlässlichen Einblick in die Datenlage bieten. Im selben Zeitraum des zweiten Projektjahres wurden 2.421 Individuen aus 41 Käferfamilien gefangen, wobei rund 52 % der Individuen aus den neun Trittsteinbiotopen stammen.

Rüsselkäfer, einschließlich Borkenkäfer, waren mit im Mittel 80 ± 135 (2023) und 28 ± 36 Käfern (2024) pro Fläche die xylobionte Käfer-Familie mit den meisten Individuen pro Trittsteinbiotop. In den Referenzflächen waren es, zum Vergleich, 36 ± 18 im Jahr 2023 und 15 ± 10 Individuen im Jahr 2024. Insgesamt wurden 32 verschiedene Borkenkäferarten auf den Untersuchungsflächen nachgewiesen, 25 Arten im ersten und 26 Arten im zweiten Jahr. Lediglich 19 Arten davon wurden in beiden Jahren beobachtet. Alle gefangenen Borkenkäfer gelten als Frischholz-Besiedler und zählen somit zu den ersten Nutzern von absterbenden bzw. abgestorbenen Bäu-

men. Andere dominante Familien, sowohl auf den Trittsteinbiotopen als auch auf den Referenzflächen, waren Scheinrüssler (*Salpingidae*), Schnellkäfer (*Elateridae*), und Kurzflügelkäfer (*Staphylinidae*). Besonders in den Nationalparks wurden viele Individuen aus der Familie der Stachelkäfer (*Mordellidae*) gefangen, vorwiegend Individuen einer Art, die sich in verpilztem Holz entwickelt.

Aus der Familie der Bockkäfer (*Cerambycidae*) wurden insgesamt 16 Arten nachgewiesen, wobei nur 3 davon in beiden Jahren gefangen wurden (11 Arten in 2023, 8 Arten in 2024). Der Eichen-Zangenbock (*Rhagium sycophanta*) ist die einzige Indikator-Art für Altwälder unter den Bockkäfern, die im Rahmen des Projekts nachgewiesen wurde. Diese Art ist als Frischholzbesiedler an alte Eichen-Standorte gebunden und laut der Roten Liste der Käfer Deutschlands „gefährdet“ (Kategorie 3). Im Untersuchungszeitraum wurde sie an einem Standort im Nationalpark Kalkalpen gefangen. Des weiteren konnte nur ein einziger Prachtkäfer, *Agrilus olivicolor*, im Untersuchungszeitraum nachgewiesen werden.

Diversität der xylobionten Familien & Substratgilden

Bezogen auf die ersten sechs Monitoring-Wochen wurde im Durchschnitt eine höhere Anzahl an Käfern auf den Trittsteinbiotop-Flächen gefangen als auf den Referenzflächen: pro Trittsteinbiotop wurden im ersten Jahr zwischen 49 und 735 (215 ± 222) und im 2. Jahr zwischen 58 und 280 (139 ± 64) xylobionte Käfer gefangen. Auf den Referenzflächen waren es 2023 zwischen 55 und 290 (151 ± 77) und 2024 zwischen 36 und 194 (107 ± 48) Individuen pro Standort. Betrachtet man die Anzahl der verschiedenen Käferfamilien, dann ist kein so deutlicher Unterschied zwischen den Flächen-Typen zu sehen (siehe Abbildung 35). Auf den Trittsteinbiotopen wurden zwischen 13 und 22 (18 ± 3) im ersten und zwischen 13 und 24 (MW 17 ± 4) Familien pro Fläche im zweiten Jahr gefangen. Auf den Referenzflächen waren es 2023 zwischen 10 und 28 Familien (17 ± 6) und 2024 zwischen 8 und 24 (16 ± 5) Käferfamilien pro Untersuchungsfläche.

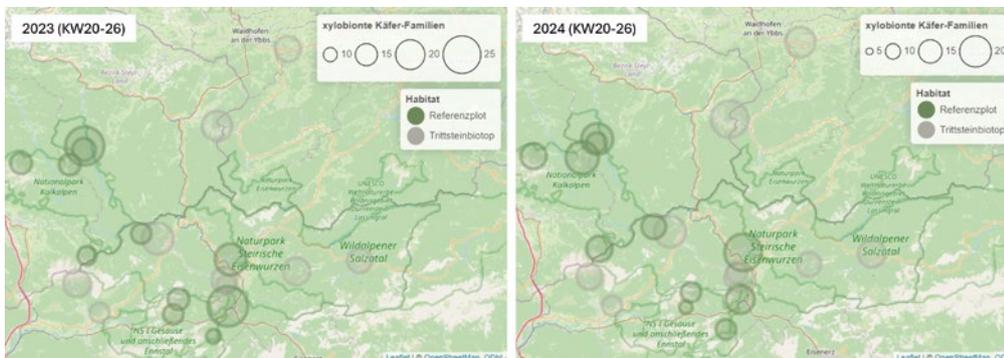


Abbildung 35: Diversität an xylobionten Käferfamilien auf den den nicht bewirtschafteten Referenzflächen (grün) und in den neu eingerichteten Trittsteinbiotopen (grau) in den Jahren 2023 (links) und 2024 (rechts).

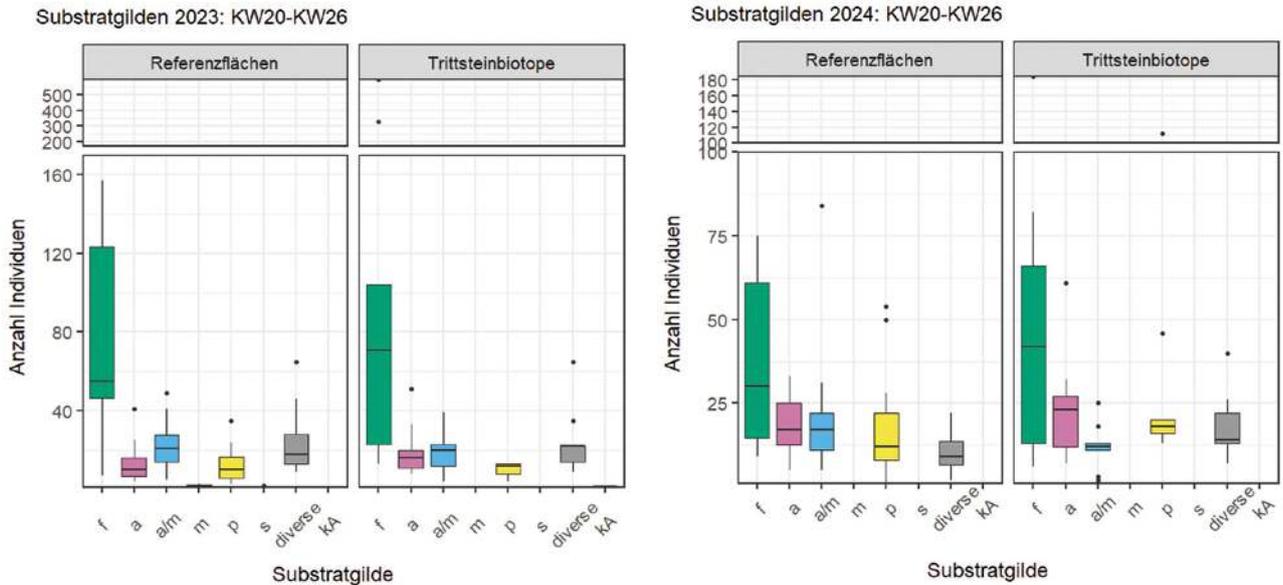


Abbildung 36: Anzahl der gefangenen Käfer der Jahre 2023 (links) und 2024 (rechts) verteilt auf die unterschiedlichen Substratgilden: f = Frischholzbesiedler, a = Altholzbesiedler, m = Mulmbesiedler, p = Holzpilzbesiedler, s = Sonderbiologie, a/m = nicht näher bestimmte Käfer aus Familien von Altholz- und Mulmbesiedlern, diverse = nicht näher bestimmte Käfer aus Familien mit diversen Substratansprüchen, kA = unbekannte Substratgilde.

Die Verteilung der Käfer-Fangzahlen auf die verschiedenen Substratgilden zeigt, dass sowohl auf den Referenzflächen als auch auf den Trittsteinbiotopen Frischholzbesiedler dominieren (siehe Abbildung 36). Sie machten im ersten Jahr etwa die Hälfte und im zweiten Jahr etwa ein Drittel der gefangenen Käfer aus. Im ersten Untersuchungsjahr waren Altholzbesiedler die zweitgrößte Gruppe auf den Flächen. Im Jahr 2024 gingen zusätzlich auffällig viele Pilzbesiedler in die Fallen. Mulmbesiedler und Arten mit Sonderbiologien traten ebenfalls, jedoch nur in geringer Zahl auf (etwa 1 % der Fänge). Der Reichtum an Gilden deutet darauf hin, dass auf einigen Untersuchungsflächen bereits verschiedene Substrattypen verfügbar sind. Eine detaillierte Auswertung der Arten innerhalb ausgewählter, waldökologisch besonders relevanter Käferfamilien wird derzeit erarbeitet und in Folge veröffentlicht.

Indikatorarten für alte Wälder & Rote Liste Arten

Indikator-Arten für Altwälder, gemäß Schmidl & Bußler (2004), spielen eine besonders wichtige Rolle für die Waldbiodiversität. Dabei handelt es sich überwiegend um Arten, die in der Rote Liste geführt werden, da sie beispielsweise als Urwald-Relikte gelten oder eine besonders geringe Migrationsfähigkeit aufweisen (siehe Abbildung 37). Bei der Aufsammlung 2023 konnten 18 Indikatorarten aus 13 Käferfamilien identifiziert werden, sechs weitere bisher in den Fängen aus 2024 (siehe Tabelle 5). Im Rahmen des Projektes konnten sowohl auf den Referenzflächen als auch in den Trittsteinbiotopen Indikator-Arten nachgewiesen werden. Dabei wiesen die Referenzflächen mit zunächst 22 verschiedenen Arten eine deutlich höhere Diversität auf als die Trittsteinbiotop, in denen 14 Arten erfasst wurden (siehe Abbildung 38).



Abbildung 37: Beispiele von Indikatorarten aus den Fängen 2023 und 2024. Von links oben im Uhrzeigersinn: *Synchita separanda* (a), *Triplax rufipes* (p), Gepunkteter Pelzkäfer (*Attagenus punctatus*, s), *Peltis grossa* (p), Rindenschroter (*Ceruchus chrysomelinus*, a), *Colyidium elongatum* (f), Scharlachroter Plattkäfer (*Cucujus cinnaberinus*, f) (Fotos: BFW/Neidel).

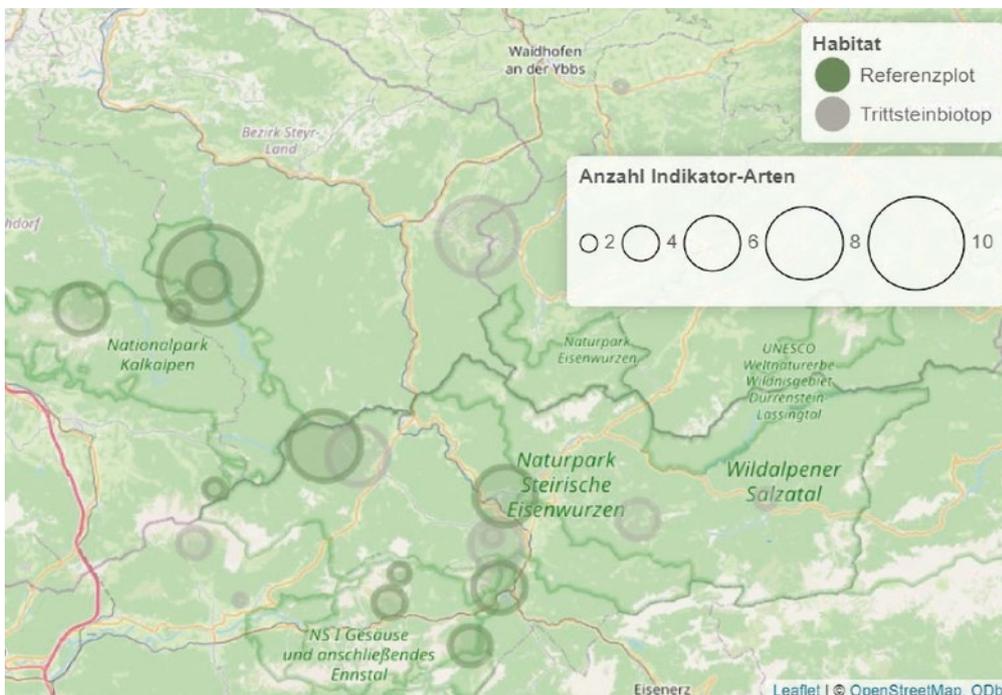


Abbildung 38: Anzahl an Indikatorarten je Untersuchungsfläche in Trittsteinbiotopen (grau) und auf Referenzflächen (grün).

Die Vielfalt an Käfern unterschiedlicher Substratgilden, sowie das Vorhandensein von Indikatorarten, lassen die Annahme zu, dass die ausgewählten Trittsteinbiotopflächen teilweise bereits ein geeignetes Habitat für diverse xylobionte Käferarten bieten. Die Variabilität der Anzahl und Vielfalt an xylobionten Käfern in den Trittsteinbiotopen ist gegenwärtig sehr hoch, was vermutlich auf die unterschiedliche Bewirtschaftungsgeschichte der einzelnen Wälder zurückzuführen ist. Werden diese Flächen nun langfristig außer Nutzung gestellt, ist davon auszugehen, dass sich diese Unterschiede hinsichtlich der Individuen- sowie Artenzahlen zwischen den Untersuchungsflächen ausgleichen werden, wie es bereits auf den Referenzflächen der Fall ist. Durch natürliche Alterungs- und Abbauprozesse werden sich in Zukunft andere xylobionte Arten ansiedeln können und das Verhältnis der unterschiedlichen Substratgilden zueinander verschieben.

Tabelle 5: Indikator-Arten (nach Schmidl & Bußler, 2004), die bisher in den Fängen aus den Jahren 2023 & 2024 identifiziert wurden. Substratgilden f = Frischholzbesiedler, a = Altholzbesiedler, m = Mulm- besiedler, p = Holzpilzbesiedler, s = Sonderbiologie; Rote Liste Deutschland Kategorien (Stand Jänner 2025): 1 = Vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, V = Vorwarn- liste, n.g. = nicht gefährdet, kA = keine Angabe. Rote Liste Österreich Kategorien: 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, 4 = potentiell gefährdet, kA = keine Angabe.

Familie	Art	Anzahl Untersuchungs- flächen mit Nachweis				
		RL D (2025)	RL A (1994)	Substrat- gilde	Referenz- flächen	Trittstein- biotope
Cerambycidae	<i>Rhagium sycophanta</i>	3	kA	f	1	-
Cucujidae	<i>Cucujus cinnaberinus</i>	n. g.	4	f	-	1
Cucujidae	<i>Pediacus dermestoides</i>	kA	2	f	6	4
Dermestidae	<i>Attagenus punctatus</i>	3	kA	s	-	1
Elateridae	<i>Denticollis rubens</i>	3	kA	a	5	3
Endomychidae	<i>Leiesthes seminigra</i>	R	2	p	1	-
Endomychidae	<i>Mycetina cruciata</i>	n. g.	kA	p	5	3
Erotylidae	<i>Dacne rufifrons</i>	3	kA	p	1	-
Erotylidae	<i>Triplax aenea</i>	3	kA	p	4	2
Erotylidae	<i>Triplax rufipes</i>	V	3	p	2	-
Lucanidae	<i>Ceruchus chrysomelinus</i>	1	2	a	3	2
Melandryidae	<i>Melandrya barbata</i>	2	3	a	1	2
Mycetophagidae	<i>Mycetophagus fulvicollis</i>	2	3	p	1	-
Mycetophagidae	<i>Mycetophagus populi</i>	3	3	p	1	-
Peltidae	<i>Peltis ferruginea</i>	3	kA	p	2	3
Peltidae	<i>Peltis grossa</i>	1	3	p	-	1
Peltidae	<i>Thymalus limbatus</i>	3	kA	p	3	-
Prostomidae	<i>Prostomis mandibularis</i>	2	4	a	2	3
Salpingidae	<i>Cariderus aeneus</i>	kA	kA	f	2	1
Scarabaeidae	<i>Gnorimus nobilis</i>	3	kA	m	2	-
Silvanidae	<i>Dendrophagus crenatus</i>	3	4	a	1	5
Tenebrionidae	<i>Neomida haemorrhoidalis</i>	1	4	p	1	-
Zopheridae	<i>Colydium elongatum</i>	3	3	f	1	-
Zopheridae	<i>Synchita separanda</i>	1	2	a	1	-
Zopheridae	<i>Synchita variegata</i>	n. g.	kA	p	4	1
Anzahl nachgewiesener Indikator-Arten					22	14

Waldgebundene Vögel und Fledermäuse hörbar machen

Waldgebundene Vögel

Einleitung

Durch die Vielfalt an Vogelarten ergeben sich sehr unterschiedliche Anforderungen an den Lebensraum, was z.B. durch die Nistplatzwahl, die Nahrungssuche, sowie Verhaltensweisen zur Feindvermeidung oder bei der Balz deutlich wird. Vögel sind mobil und reagieren oftmals unmittelbar auf veränderte Umweltbedingungen oder finden und nutzen neu entstandene Habitate und Ressourcen sehr rasch. Durch die relativ einfache Erfassung von Arten ist diese verhältnismäßig gut erforschte Tiergruppe optimal geeignet, um als Indikatoren für den Zustand eines Lebensraums und der Biodiversität verwendet zu werden.

Darüber hinaus erweisen sich viele Vögel als äußerst nützlich für das Ökosystem Wald. Eichel- und Tannenhäher verstecken Samen von Eiche, Buche, Zirbe und Haselnuss, wohingegen Drosseln, Stare und Rotkehlchen vor allem fleischige Früchte vieler Sträucher und Gehölze fressen und die Samen unbeschadet ausscheiden (z.B. Eberesche, Schwarzer Holler, Weißdorn, Pfaffenkappelerl, Eibe und Wacholder) (Pfeifer & Schmidt 2022). Mit Eulen, Greifvögeln und Spechten bestehen zudem wichtige Gegenspieler zu Tierarten, die für plötzliche Massenvermehrung bekannt sind (z.B. Wühlmäuse und Borkenkäfer). Ein Mangel an Totholz, Habitatbäumen und somit potentiellen Nisthöhlen kann für manche Arten durch Nisthilfen kurzfristig ausgeglichen werden. Wichtiger ist jedoch die Förderung entsprechender Strukturen durch gezielte Bewirtschaftungsmaßnahmen aber auch durch unterlassene Eingriffe.

Methodik

Zwischen Anfang Mai und Anfang Juli 2022 wurden an allen 40 Standorten im ConnectForBio-Untersuchungsgebiet akustische Aufnahmegeräte installiert. Die verwendeten Geräte (Audiomoth Version 1.2.0, Firmware 1.7.1) wurden in wetterfesten Gehäusen in etwa 1,5 m Höhe an Bäumen mit einem Brusthöhendurchmesser unter 30 cm befestigt (siehe Abbildung 39). Bäume mit einem größeren Durchmesser sowie Bereiche mit einer dichten Strauchschicht wurden vermieden, um ungewünschte Schallreflexionen und Störgeräusche zu minimieren.

Die Rekorder haben täglich zwischen 03:30 und 07:30 Uhr jede zweite Minute aufgezeichnet. Insgesamt entstanden so rund 200.000 einminütige Aufnahmen, was einer Aufzeichnungszeit von etwa 3.333 Stunden oder 138 Tagen entspricht. Im Sinne einer effizienten Auswertung wurden die Daten mit künstlicher Intelligenz (BirdNET Version 2.4) vorgefiltert. Anschließend wurde das Vorkommen von Vogelarten anhand aufgezeichneter artspezifischer Rufe und Gesänge überprüft. Hierzu wurden 2.390 Aufnahmen ausgewählt, wobei jede vorgeschlagene Art an jedem Standort berücksichtigt



Abbildung 39: Beispiele für angebrachte Audiorekorder an Bäumen mit einem Brusthöhendurchmesser von maximal 30 cm (Fotos: BFW/Sachser).

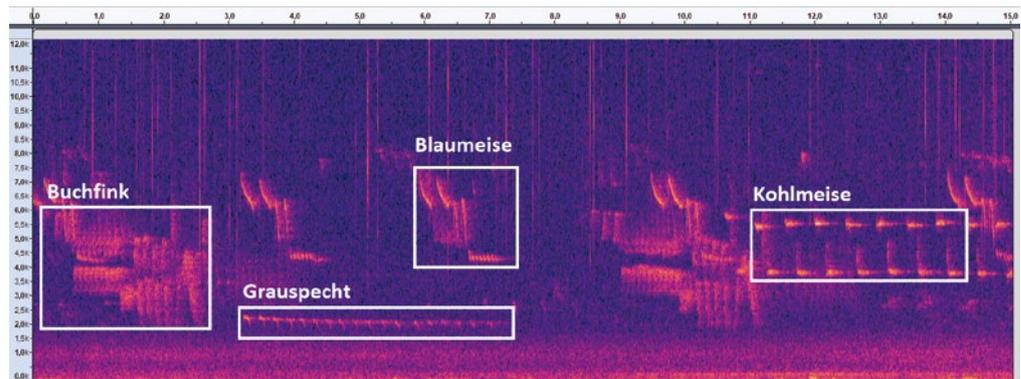


Abbildung 40: Spektrogramm einer 15 Sekunden langen Aufnahme eines passiven Audiorekorders mit Markierungen für artspezifische Lautäußerungen von vier Vogelarten. Auf der X-Achse ist die Zeit und auf der Y-Achse die Frequenz dargestellt. Je heller die Pixel in der Darstellung, desto lauter wurde das Signal aufgenommen.

wurde, sofern ein konservativer Schwellenwert überschritten wurde. Diese Aufnahmen wurden analysiert und gleichzeitig durch so genannte Spektrogramme visualisiert (siehe Abbildung 40).

Ergebnisse

Die Analyse der nicht-verifizierten kumulierten Anzahl vorgeschlagener Arten bei verschiedenen Schwellenwerten zeigt, dass die Kurven aller Standorte nach etwa einem Monat abflachen. Dies lässt darauf schließen, dass ein Aufnahmezeitraum von etwa zwei Monaten notwendig aber auch ausreichend ist, um die Vogeldiversität vollständig zu erfassen. Die Methodik war auch insofern erfolgreich, als dass Nachweise von Weißrückenspecht (*Dendrocopus*

leucotos), Waldschnepfe (*Scolopax rusticola*), Raufußkauz (*Aegolius funereus*), Sperlingskauz (*Glaucidium passerinum*), Zwergschnäpper (*Ficedula parva*) und anderen seltenen oder schwer erfassbaren Arten verzeichnet werden konnten. Nach Verifizierung der Ergebnisse zeigte sich, dass die Künstliche Intelligenz (KI-Software) gewisse Lautäußerungen und Arten besser erkennt als andere und, dass die Varianz der Werte artspezifisch ist, was Konsequenzen für die Wahl des verwendeten Schwellenwerts hat.

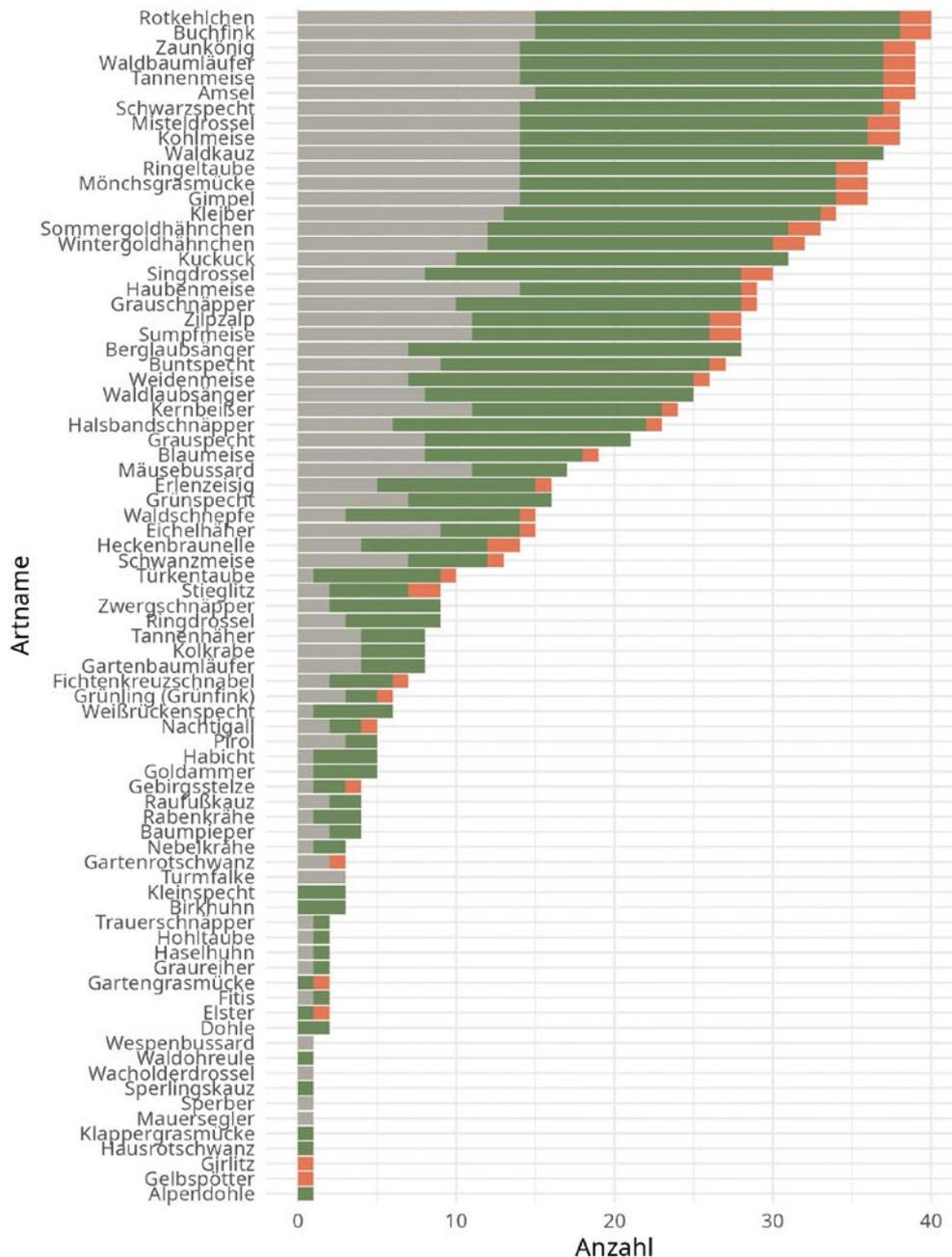


Abbildung 41: Nachgewiesene Vogelarten inklusive der Anzahl an Standorten, an denen sie nachgewiesen wurden (Trittsteinbiotope grau; nicht bewirtschaftete Referenzflächen (grün), bewirtschaftete Referenzflächen (orange). Die Nachweise wurden von Experten verifiziert, wobei nach Analyse mittels Künstlicher Intelligenz von jedem Aufnahmegerät die Aufnahme mit dem höchsten Konfidenzwert einer jeden Vogelart manuell überprüft wurde.

In Summe konnten insgesamt 79 Arten nachgewiesen werden, wovon etwa die Hälfte (38 Arten) an mindestens 10 Standorten aufzeichnet wurde, darunter Berglaubsänger (*Phylloscopus bonelli*), Grauspecht (*Picus canus*) und Waldschnepfe (siehe Abbildung 41). Elf Vogelarten konnten an nur einem Standort sicher nachgewiesen werden. Unter den eher seltenen Nachweisen befinden sich einerseits viele Arten, die charakteristisch für offene oder halb-offene Flächen sind (z.B. Baumpieper, (*Anthus trivialis*) Goldammer (*Emberiza citrinella* und Gartenrotschwanz (*Phoenicurus phoenicurus*)) und andererseits Arten mit speziellen Lebensraumsprüchen (z.B. Birkhuhn (*Lyrurus tetricus*), Weißrückenspecht und Tannenhäher (*Nucifraga caryocatactes*)). Da jeweils nur eine Aufnahme pro Art und Standort überprüft wurde, kann nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne Vogelarten auch an weiteren Standorten vorkommen. Einige Arten, die an relativ vielen Standorten nachgewiesen wurden, sind generell häufige Arten in Österreich (z.B. Rotkehlchen (*Erithacus rubecula*), Buchfink (*Fringilla coelebs*) und Tannenmeise (*Periparus ater*)), wohingegen andere wegen ihrer Lautstärke über große Distanzen aufgenommen werden können (z.B. Schwarzspecht (*Dryocopus martius*), Waldkauz (*Strix aluco*) und Kuckuck (*Cuculus canorus*)). Darüber hinaus wurden aber auch Arten mit teils recht speziellen Habitatanforderungen häufig gefunden, wie zum Beispiel die Waldschnepfe, der Grauschnäpper (*Muscicapa striata*) und der Waldlaubsänger (*Phylloscopus sibilatrix*).

Waldgebundene Fledermäuse

Einleitung

Fledermäuse sind ein wesentlicher Bestandteil stabiler Waldökosysteme. Viele Arten jagen nicht nur im Wald nach Insekten, sondern haben dort auch ihre Tagesschlafverstecke, bekommen ihre Jungen und überwintern teilweise sogar in Baumhöhlen. Dank seiner Strukturvielfalt kann der Wald zahlreiche unterschiedliche Lebensraumsprüche erfüllen. Habitatbäume spielen dabei eine wichtige Rolle. Specht- und Mulmhöhlen sind beliebte Quartiere höhlenbewohnender Fledermäuse, wie der Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*) und des Abendseglers (*Nyctalus noctula*). Risse oder abstehende Borke werden von Arten, wie Mops- und Brandtfledermaus (*Barbastella barbastellus* und *Myotis brandtii*) als Versteck genutzt. Die Fledermausdiversität eines Waldes liefert sehr wertvolle Hinweise auf die Vernetzung und Struktur eines Lebensraums. Fledermäuse orientieren sich über Ultraschallrufe und Echoortung. Diese spezielle Fähigkeit der Fledermäuse wird genutzt, um die Artengruppen akustisch nachzuweisen. Dafür werden Audiorekorder eingesetzt, die während der Nacht die Rufe vorbeifliegender Fledermäuse aufzeichnen.

Methodik

Die bereits beschriebenen Audiorekorder (Audiomoth Version 1.2.0, Firmware 1.7.1) wurden zwischen Anfang und Mitte August 2022 an denselben 40 Standorten des ConnectForBio-Untersuchungsgebiets installiert. Die Aufhängung erfolgte ebenfalls nach dem gleichen Muster. Um die

Ultraschallrufe der nachtaktiven Fledermäuse aufzeichnen zu können, wurde eine von den Vögeln abweichende Programmierung gewählt. Der für Menschen hörbare Frequenzbereich liegt zwischen etwa 20 Hz und 20 kHz. Der Ruf der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) liegt mit über 40 kHz weit über dem für uns hörbaren Frequenzbereich (siehe Abbildung 42).

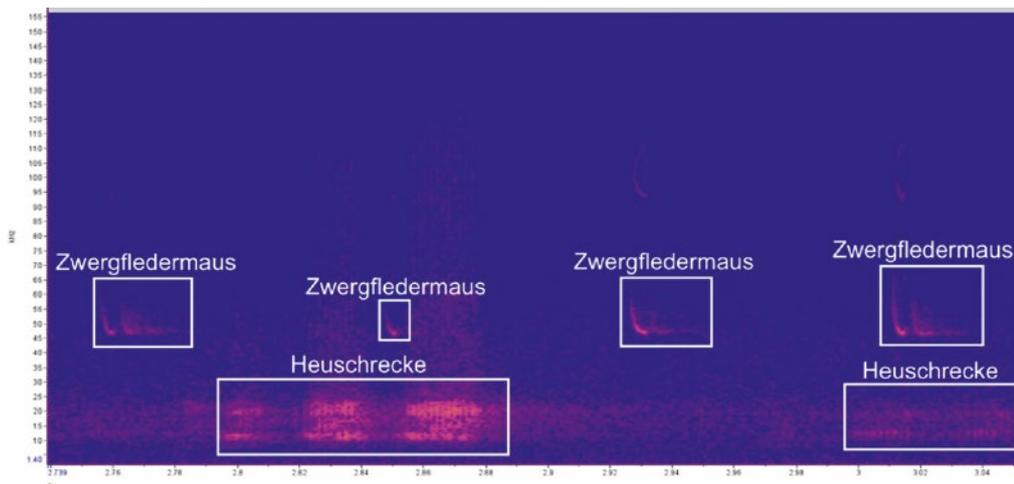


Abbildung 42: Spektrogramm einer 15-sekündigen Aufnahme eines passiven Audiorekorders mit Markierungen für artspezifische Lautäußerungen einer Zwergfledermaus und einer unbestimmten Heuschrecke im tieferen Bereich des Frequenzspektrums. Auf der X-Achse ist die Zeit und auf der Y-Achse die Frequenz dargestellt. Je heller die Pixel in der Darstellung, desto lauter wurde das Signal aufgenommen.

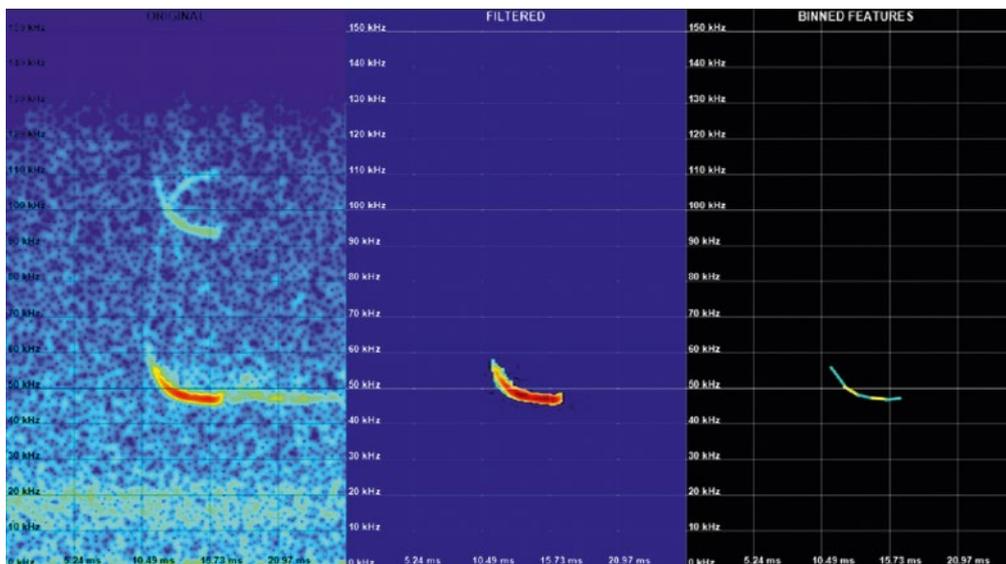


Abbildung 43: Beispiel der Filterung eines Spektrogramms eines Zwergfledermausrufes. Auf der X-Achse ist die Zeit und auf der Y-Achse die Frequenz dargestellt. Je intensiver rot die Pixel in der Darstellung sind, desto lauter wurde das Signal in diesem Bereich aufgenommen. Die linke Darstellung zeigt das originale Spektrogramm. Die mittlere Darstellung das gefilterte Spektrogramm und die rechte Darstellung die abstrahierten Werte für die Artbestimmung (BatScope 4.2).

Die Aufzeichnung von Tönen im Ultraschallbereich erzeugt pro Zeiteinheit mehr Daten und verbraucht mehr Strom als eine Aufzeichnung von Tönen im hörbaren Bereich. Da die verfügbare Energie durch die Batterien der Rekorder limitiert ist, kann nur ein kürzerer Untersuchungszeitraum eingeplant werden. Die Rekorder zeichneten daher täglich zwischen 20:00 abends und 05:00 morgens im Wechsel jeweils 5 Sekunden lang auf und schliefen dann für 10 Sekunden. Insgesamt entstanden so rund 800.000 fünf Sekunden kurze Aufnahmen mit einem gesamten Speicherplatzbedarf von ca. 1,5 Terabyte oder 1.500 Gigabyte. Diese Daten wurden mit einer automatisierten Software (BatScope 4.2) der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL vorgefiltert (siehe Abbildung 43).

Die Rufe wurden zusätzlich stichprobenartig gefiltert, ausgewertet und bestimmt. Diese Aufnahmen wurden abgehört und gleichzeitig durch Spektrogramme visualisiert (siehe Abbildung 42). Einige Fledermausarten haben sehr ähnliche Rufe. So lassen sich beispielsweise die Rufe der Brandtfledermaus und der kleinen Bartfledermaus akustisch nicht voneinander unterscheiden. Sie unterscheiden sich aber akustisch von den anderen vorkommenden Fledermausgruppen und werden daher in den Ergebnissen als Bartfledermäuse zusammengefasst.

Ergebnisse

Im August 2022 registrierte die automatisierte akustische Erfassung an 33 Standorten im ConnectForBio-Untersuchungsgebiet mindestens 12 Fledermausarten/gruppen. Dabei erlitten 7 Geräte Schäden durch Wassereinwirkung. An einem Standort konnten acht Arten/Gruppen und an vier Standorten sechs Arten/Gruppen aufgezeichnet werden. Hinter den nachgewiesenen Gruppen der Bartfledermäuse, Langohren, Rauhaut- oder Weißrandfledermäuse können sich jedoch noch weitere Arten „verstecken“.

Am häufigsten wurden die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) (28 Standorte) und die Bartfledermäuse (17 Standorte) nachgewiesen (siehe

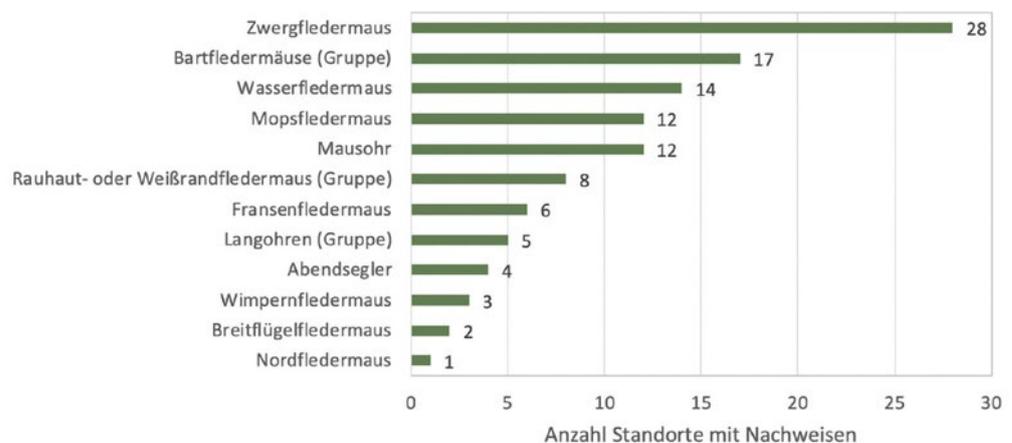


Abbildung 44: Nachgewiesene Fledermausarten/gruppen inklusive der Anzahl an Standorten, an denen sie nachgewiesen wurden. Die Nachweise wurden händisch verifiziert.

Abbildung 44). Die Quartiere der Brandtfledermaus (eine der beiden möglichen Bartfledermausarten) und der Mopsfledermaus sind häufig in Baumspalten und hinter abstehender Borke abgestorbener Habitatbäumen versteckt. Da sie ihre Quartiere oft wechseln, sind sie besonders abhängig von einer guten Vernetzung der Habitatstrukturen und einer ausreichenden Anzahl von Habitatbäumen in der Umgebung.

Das passiv akustische Monitoring von Fledermäusen im Wald kann einen wertvollen Einblick in diesen, sonst für den Menschen unsichtbaren Teil des Waldökosystems liefern. Die Anzahl der nachgewiesenen Fledermausarten pro Fläche unterscheidet sich nicht zwischen den Trittsteinbiotopen und den Referenzflächen. Die nachgewiesenen Arten variieren stärker zwischen den einzelnen Flächen. Für einen vollständigen Überblick der Fledermausdiversität kontrollieren Experten zusätzlich Quartiere wie Höhlen und Gebäude und führen Netzfänge durch. Erst durch den Methodenmix kann der Zustand der Fledermauspopulationen bestimmt werden.

Auf den Spuren der tierischen Nutzer von Baumhöhlen

Einleitung

Habitatbäume mit ihren vielfältigen Mikrohabitaten stellen ein wichtiges Element für die Ökosystemfunktion eines Waldes dar. Ein wichtiger Lebensraum für die Artenvielfalt in Wäldern sind dabei die sogenannten Mulmhöhlen. Sie entstehen durch Verletzungen an lebenden Bäumen, wie Astabbrüche, Rindenschädigungen oder Spechthöhlen. Zersetzungsaktivitäten verschiedenster Organismen sorgen für die Ansammlung von lockerem Material, dem namensgebenden Mulm, am Boden dieser Höhlen. Mulmhöhlen bieten im Laufe ihrer jahrelangen Entwicklung Lebensraum für zahlreiche Artengruppen. Die größte Gruppe bilden dabei die Insekten. Außerdem sind sie ein Habitat für höhlenbrütende Vögel und Säugetiere. Die Höhlen können dabei sehr unterschiedlich beschaffen sein. Es gibt große und kleine Mulmhöhlen, jene mit großem oder kleinem Eingang. Sie befinden sich in Bodennähe, mit oder ohne Kontakt zum Waldboden, oder hoch oben im Stamm. Viele Arten benötigen dabei spezifische Höhlen mit einem speziellen Mikroklima und sind deshalb von einer ausreichenden Anzahl an Höhlen in der Umgebung abhängig. Über die Nutzung von Mulmhöhlen durch mobile Arten wie Kleinsäuger und Vögel ist bisher relativ wenig bekannt. Durch den Einsatz von Kamerafallen im Eingangsbereich der Höhlen soll erhoben werden, welche warmblütigen Arten, in welcher Intensität, Mulmhöhlen nutzen.

Methodik

Zwischen Anfang Juni und November 2023 wurden 40 spezielle Kamerafallen an Habitatbäumen auf 18 Standorten des ConnectForBio Untersuchungsgebiets montiert. Für die Montage der Kameras wurde Baumkletterausrüstung verwendet, um die Kameras auch an Mulmhöhlen in großer Höhe anbringen zu können. Die verwendeten Kameras (Reolink Argus Eco)



Abbildung 45: Eine der Kamerafallen vor dem Eingang einer Mulmhöhle. Zu sehen ist die Befestigung mit einem Baumstativ und die zusätzliche Stromversorgung mit einem Solarpanel (Foto: capreolus).

wurden mit Zurrgurten und speziellen Baumstativen etwa 50 cm vor dem Eingang der Mulmhöhle befestigt (siehe Abbildung 45). Die Kameras sind mit einem Passiv-Infrarot-Sensor (PIR) ausgestattet und die Sensoren erkennen Temperaturänderungen im Überwachungsraum vor der Mulmhöhle. Besucht ein warmblütiges Tier, wie ein Siebenschläfer (*Glis glis*) oder ein Trauerschnäpper (*Ficedula hypoleuca*) die Höhle, wird eine 15 Sekunden lange Videoaufnahme ausgelöst (siehe Abbildung 46). Bei Aufnahmen in der Nacht wird der Bereich zusätzlich durch ein, für die Tiere nicht sichtbares, Infrarotlicht ausgeleuchtet. Im November 2023 wurden die Kameras, Baumstative und Gurte rückstandslos abgebaut.

Insgesamt entstanden rund 12.000 Videoaufnahmen. Die Videos wurden durch einen mehrstufigen Prozess mithilfe künstlicher Intelligenz (KI) analysiert. In einem ersten Schritt wurden die Videos in Einzelbilder zerlegt



Abbildung 46: Kamerafallenaufnahme eines Trauerschnäppers (*Ficedula hypoleuca*) vor dem Eingang einer Mulmhöhle. Die eingesetzte Software erkennt den Vogel und markiert das Objekt mit einem roten Rahmen.

und dann wurde in jedem Bild überprüft, ob ein Tier sichtbar ist (Mega-Detector 5b). Die erkannten Objekte wurden daraufhin mit einem zweiten Programm weiter bestimmt (DeepFaune v1.2). Dabei konnten einige Arten auf Artniveau bestimmt und andere Arten zu Artengruppen (beispielsweise Kleinsäuger als „micromammal“) zusammengefasst werden. Anschließend überprüften Experten die vorsortierten Aufnahmen und bestimmten die Objekte nach Möglichkeit auf Artniveau. Bei den größtenteils nachts, in schwarz-weiß, aufgenommenen Kurzschwanzmäusen, Langschwanzmäusen und Rotzahnspeitzmäusen konnten bis zur taxonomischen Ebene der Unterfamilie bestimmt werden. In einem letzten Schritt wurde analysiert, ob die Tiere auch mit der Mulmhöhle und/oder ihrem Eingang interagieren. Die größeren Huftiere wurden beispielsweise zwar aufgenommen, ohne aber mit der Mulmhöhle Kontakt zu haben.

Ergebnisse

Anhand der Videosequenzen konnten insgesamt 26 Arten/Gruppen identifiziert werden (siehe Tabelle 6 und Abbildung 47). Für 20 Arten konnte weiterhin eine direkte Interaktion mit der Mulmhöhle nachgewiesen werden. Die am häufigsten vorkommenden Arten waren Langschwanzmäuse und Kohlmeisen.

Tabelle 6: Auf den Kamerafallenvideos nachgewiesene Tierarten und ihre Interaktion mit den Mulmhöhlen.

Säugetierarten	Interaktion Mulmhöhle	Vogelarten	Interaktion Mulmhöhle
Haselmaus	ja	Trauerschnäpper	ja
Kurzschwanzmäuse	ja	Grauschnäpper	ja
Langschwanzmäuse	ja	Kohlmeise	ja
Siebenschläfer	ja	Blaumeise	ja
Eichhörnchen	ja	Rotkelchen	ja
Rotzahnspitzmäuse	ja	Waldbaumläufer	ja
Hermelin	ja	Schwarzspecht	ja
Dachs	ja	Grauspecht	ja
Steinmarder	ja	Buntspecht	ja
Rotfuchs	nein	Kleiber	ja
Rothirsch	nein	Waldkauz	ja
Reh	nein	Misteldrossel	nein
Alpengams	nein	Ringdrossel	nein

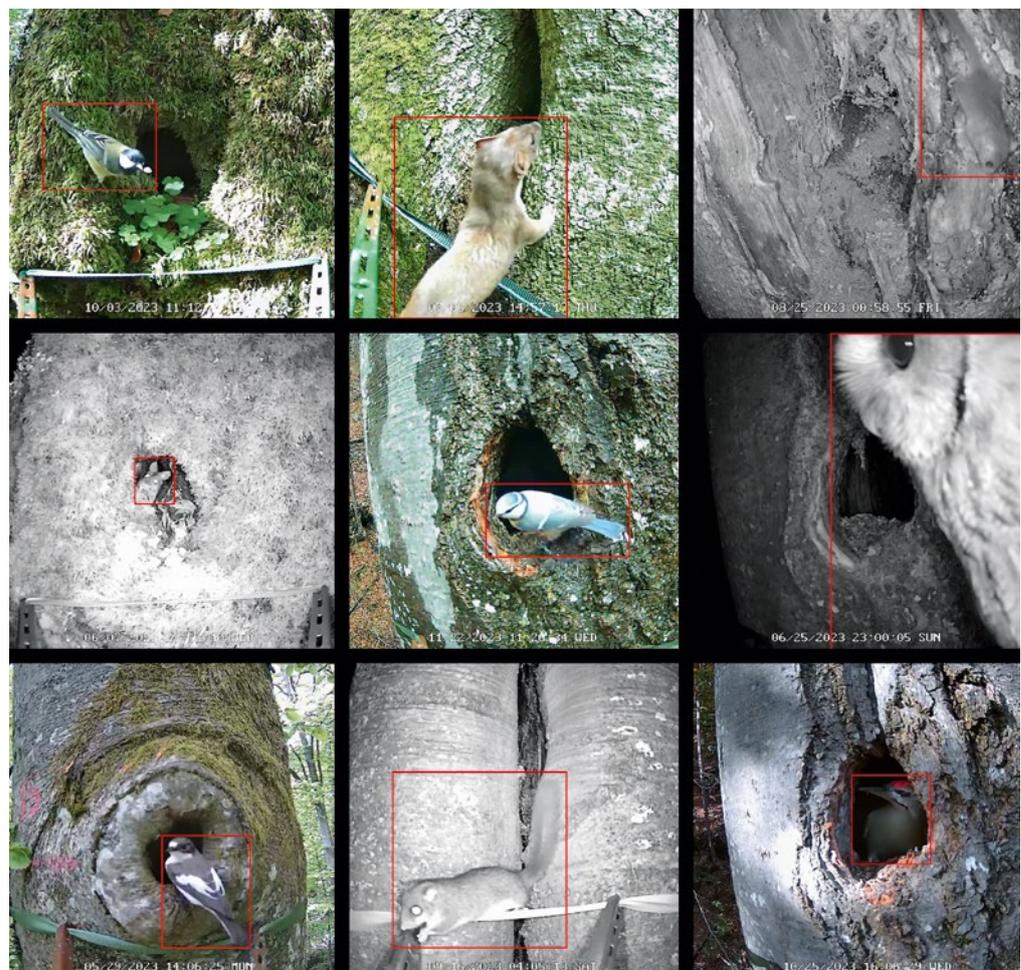


Abbildung 47: Kamerafallenaufnahmen verschiedener Tierarten vor dem Eingang einer Mulmhöhle. Die eingesetzte Software erkennt die Tiere und markiert das Objekt mit einem roten Rahmen. v. l. n. r. erste Reihe: Kohlmeise, Hermelin und Haselmaus. v. l. n. r. zweite Reihe: Langschwanzmaus, Blaumeise und Waldkauz. v. l. n. r. dritte Reihe: Trauerschnäpper, Siebenschläfer und Grauspecht.

Die Aufnahmen zeigen eine interessante Abfolge von Besuchen einer Mulmhöhle, bei denen Raubtiere wie Hermelin und Steinmarder potenziellen Beutetieren wie Langschwanzmäusen und Haselmäusen folgten. Die Ausprägungen der einzelnen untersuchten Mulmhöhlen waren sehr divers und auch die Nutzungsrate durch warmblütige Tiere unterschied sich stark. Die Anzahl der Videoaufzeichnungen schwanken dabei von nur vier Videos an einer Mulmhöhle bis hin zu 1.500 Aufnahmen an einer anderen. Größere Mulmhöhlen wurden häufiger besucht als kleine Höhlen. Näher am Waldboden liegende Mulmhöhlen wurden häufiger und von mehr Arten besucht als hoch oben am Stamm positionierte Höhlen.

Die Untersuchung zeigt die Vielfalt an Tierarten, die Mulmhöhlen als Versteck oder aber zur Nahrungssuche nutzen. Besonders mobile Arten, wie Säugetiere und Vögel können bei ihren Besuchen unterschiedlicher Mulmhöhlen Sporen, Samen, Eier, Larven an ihrem Fell und ihren Federn von einer Höhle zur nächsten transportierten und so zur Verbreitung dieser Mulmhöhlen-Spezialisten beitragen.

Der Waldboden: ein magischer Teppich aus komplexem Leben

Einleitung

Die Biodiversität von Waldböden ist entscheidend für die Erhaltung der Waldgesundheit, die Stabilität von Ökosystemen, den Nährstoffkreislauf und die Kohlenstoffspeicherung. Trotz ihrer enormen Bedeutung bleibt das komplexe Leben im Waldboden, das diese wesentlichen Funktionen ermöglicht, einer der am wenigsten erforschten Aspekte von Waldökosystemen.

Diese Untersuchung analysiert die Zusammensetzung und die Einflussfaktoren der Bodenbiodiversität entlang eines Höhengradienten in Buchen- und Fichten-Tannen-Buchenwäldern der Nördlichen Kalkalpen in Österreich. Es wird analysiert, wie Umweltgradienten und die Waldstruktur Bodenmikroben



Abbildung 48: Probenahmepunkt im organischen Horizont eines von Buchen dominierten Waldes (Foto: BFW/Bradley).

beeinflussen. Durch die Verknüpfung von Biodiversitätskennzahlen des Bodens mit Bodeneigenschaften und Strukturindikatoren, wie Bestandesstruktur oder Totholzmenge, sollen die wichtigsten Einflussfaktoren der Biodiversität von Bergwaldböden und die Wechselwirkungen zwischen oberirdischer und unterirdischer Biodiversität identifiziert werden.

Die mikrobiellen Gemeinschaften in Waldböden spielen eine wesentliche Rolle im Nährstoffkreislauf, beim Abbau organischer Substanzen, bei der Verbesserung der Bodenstruktur und in symbiotischen Beziehungen mit Pflanzen. Die vorliegende Untersuchung stützt sich auf die Analyse mikrobieller Gemeinschaften mittels Phospholipid-Fettsäure-Analyse (PLFA), um die Diversität und funktionellen Eigenschaften verschiedener mikrobieller Gruppen in Waldböden zu identifizieren. Tabelle 7 gibt eine Übersicht über die Eigenschaften und Funktionen der mikrobiellen Gruppen, die durch die PLFA-Analyse identifiziert wurden.

Tabelle 7: Übersicht der mikrobiellen Gruppen ihrer Eigenschaften und Funktionen, die durch die PLFA-Analyse identifiziert wurden.

Mikrobielle Gruppe	Eigenschaften	Funktionen
Gram-negative Bakterien	Dünne äußere Membran, häufig in Waldböden	Stickstoffkreislauf, Abbau organischer Substanzen
Bacillota (gram-positive)	Dicke Zellwände, widerstandsfähig gegen Umweltstress	Stickstoffkreislauf, Abbau organischer Substanzen
Actinobacteria (gram-positive)	Abbau komplexer organischer Verbindungen	Abbau von Zellulose, Lignin und Chitin
Schlauchpilze und Ständerpilze	Umfasst Pilze wie Schimmel und Konsolenpilze	Abbau von Holz und Laubstreu, Verbesserung der Bodenstruktur, Symbiosen mit Pflanzen
Jochpilze	Beitrag zu Nährstoffkreisläufen und Pflanzeninteraktionen	Abbau, Nährstoffrecycling, Mykorrhiza-Assoziationen, Verbesserung der Bodenstruktur
Arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMF)	Symbiotisch mit Pflanzenwurzeln	Aufnahme von Phosphor und Stickstoff, Enzymaktivität, Ökosystemresilienz

Methodik

Die Untersuchung wurde im Sommer und Herbst 2023 an 30 Standorten des ConnectForBio-Untersuchungsgebiets durchgeführt. Dazu gehören 23 nicht bewirtschaftete Referenzflächen und sieben Trittsteinbiotope, die alle auf kalkhaltigem Ausgangsgestein liegen. Die Feldarbeit umfasste drei Hauptkomponenten:

- Bodenprofile wurden bis zu einer Tiefe von einem Meter analysiert und nach den Protokollen der FAO Guidelines for Soil Description (2006) und der Österreichischen Bodensystematik (2000) beschrieben. Dabei wurden Parameter wie Tiefe, Farbe, Steingehalt, Textur und Aggregatform systematisch erfasst.
- Bodenproben wurden aus dem organischen Horizont und dem mineralischen Boden in den Tiefen von 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm und 50-80 cm entnommen. Insgesamt wurden 179 Proben im Labor der Abteilung für Bodenkunde des BFW analysiert. Die Analyse umfasste die Bestimmung des Trockengewichts, des pH-Werts, des Gehalts an organischem Kohlenstoff, des Stickstoffgehalts und der Schüttdichte.
- Für die Analyse der mikrobiellen Gemeinschaften mittels PLFA-Analyse wurden die Proben Anfang Oktober 2023 entnommen, um die saisonale Variabilität zu minimieren. Insgesamt wurden 60 Proben entnommen, jeweils eine aus dem organischen Horizont (F+H) und eine aus dem mineralischen Boden (0-10 cm) pro Fläche.



Abbildung 49: Ansicht eines Bodenprofils aus dem ConnectForBio-Untersuchungsgebiet.

Zur Identifikation der Einflussfaktoren auf die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften wurden mehrere Schritte durchgeführt. Unter anderem wurde eine Datenbank erstellt, die die Ergebnisse der PLFA-Analyse, die physikochemischen Bodenparameter sowie die Variablen der Waldstruktur enthält. Anschließend wurde eine Hauptkomponentenanalyse (PCA) durchgeführt, um die Variation der mikrobiellen PLFA-Gruppen zu untersuchen und wichtige Muster innerhalb der Daten zu identifizieren. Um die Multikollinearität zwischen den Einflussfaktoren zu minimieren, wurden hoch korrelierte Variablen identifiziert und aus der Analyse ausgeschlossen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Ergebnisse nicht durch redundante Informationen verzerrt werden. Eine Redundanzanalyse (RDA) wurde durchgeführt, um die mikrobiellen PLFA-Gruppen mit den Umweltfaktoren, den Bodeneigenschaften und den Waldstrukturvariablen zu korrelieren. Dadurch konnten die Haupteinflussfaktoren für die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften ermittelt werden. Die Berechnung der Korrelationen zwischen den mikrobiellen Gruppen und ihrer Einflussfaktoren zeigte signifikante Zusammenhänge zwischen spezifischen Mikroben und den Umwelt- sowie Standortbedingungen.

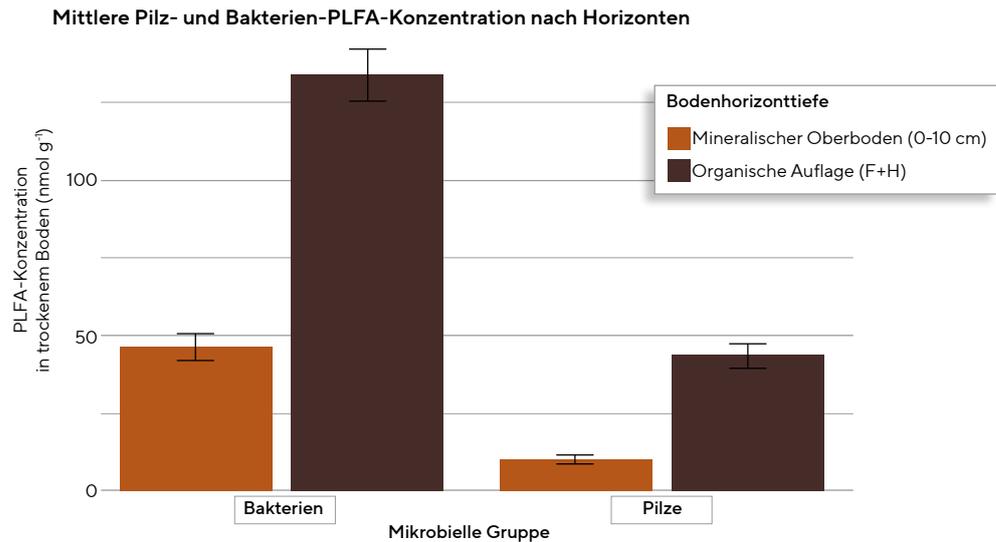


Abbildung 50: Zusammensetzung der aktiven bakteriellen und pilzlichen Gemeinschaften in organischen (dunkelbraun F und H) und mineralischen (hellbraun, 0-10 cm) Bodenschichten.

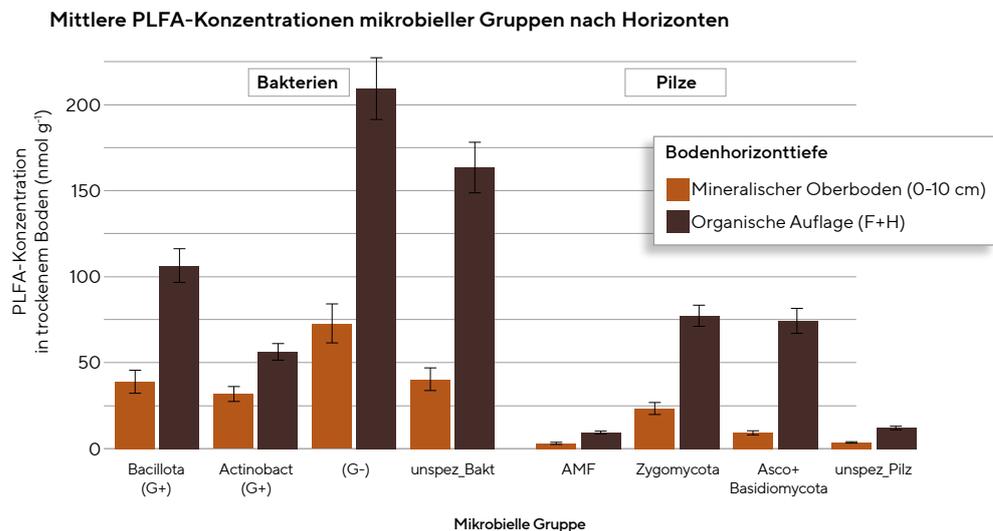


Abbildung 51: Konzentrationen mikrobieller Gruppen in organischen (dunkelbraun, F und H) und mineralischen (hellbraun, 0-10 cm) Bodenschichten.

Ergebnisse

Die mikrobiellen Gemeinschaften im Boden werden von Bakterien dominiert, deren Konzentrationen sowohl im Oberboden als auch in organischen Horizonten etwa doppelt so hoch sind wie jene der Pilze. Die Standardfehlerbalken zeigen ein konsistentes Muster über alle Flächen hinweg (siehe Abbildung 50). Die Variabilität der mikrobiellen Konzentrationen ist im organischen Horizont deutlich größer als im mineralischen Boden, was auf eine stärkere Heterogenität der Bedingungen im organischen Material hinweist. Dabei zeigen Gruppen mit höheren Durchschnittskonzentrationen auch größere Unterschiede zwischen den beiden Horizonten. Dies könnte auf eine unterschiedliche Anpassung an die spezifischen Bedingungen in den Horizonten hinweisen, mit jeweils höherer Aktivität im organischen Horizont (siehe Abbildung 51).

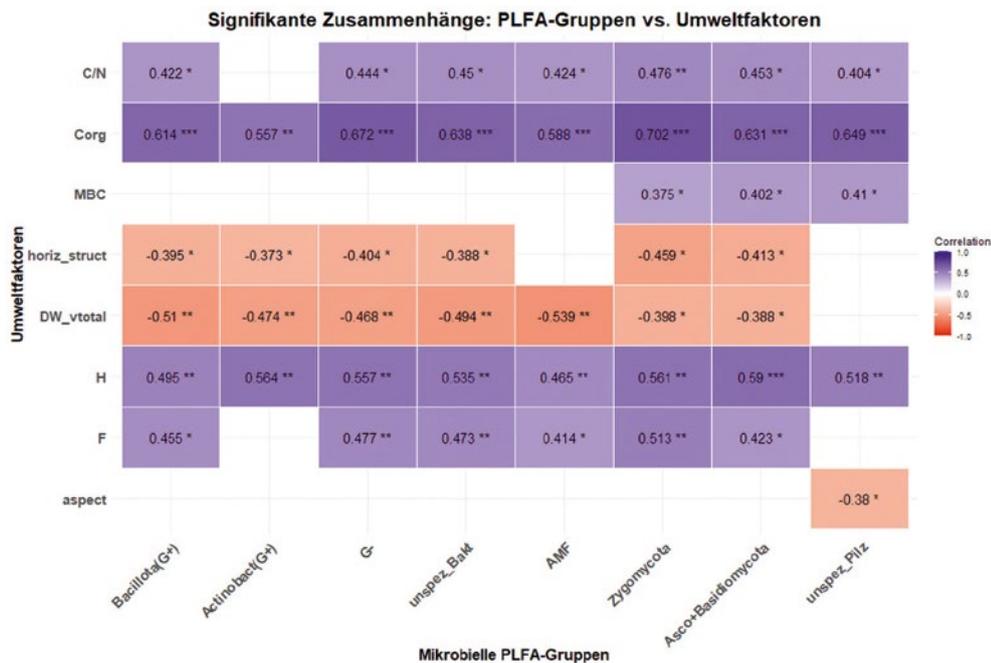


Abbildung 52: Heatmap der Korrelationen zwischen mikrobiellen PLFA-Konzentrationen im mineralischen Boden (0-10 cm) und Umweltfaktoren. [C/N – Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis, Corg – organischer Kohlenstoffgehalt, MBC – Mikrobielle Biomasse Kohlenstoff, horiz_struct – horizontale Struktur des Waldstandes, DW_vtotal – Gesamtvolumen des Totholzes, H – Humushorizontdicke, F – fermentierter Horizontdicke, aspect – Hangausrichtung]

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl der organische Kohlenstoff als auch die Waldstruktur einen wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung und Konzentration mikrobieller Gemeinschaften haben. Positive Korrelationen wurden zwischen dem organischen Kohlenstoffgehalt und den mikrobiellen PLFA-Konzentrationen festgestellt. Im Gegensatz dazu korrelieren eine lichte Bestandesstruktur und das Totholzvolumen negativ mit den meisten mikrobiellen Konzentrationen (siehe Abbildung 52). Die Korrelation zwischen mikrobiellen Konzentrationen und Waldauflichtung deutet darauf hin, dass dichtere Kronen die mikrobielle Aktivität durch ein stabiles Mikroklima fördern könnten. Die unerwartet negative Beziehung zum Totholzvolumen könnte auf Konkurrenz oder Veränderungen im Nährstoffkreislauf hinweisen. Hervorzuheben ist die signifikante Beziehung zwischen der Dicke des organischen Horizonts und den mikrobiellen Gemeinschaftskonzentrationen im mineralischen Boden. Dies zeigt die hohe Bedeutung organischer Schichten als Ressource. Die zugrunde liegenden Mechanismen, insbesondere die negativen Zusammenhänge mit Totholz und Waldauflichtung, bedürfen für eine bessere Interpretation weiterer Untersuchungen.

Zukünftige Studien sollten zusätzlich Flächen auf silikatischem Ausgangsgestein analysieren, um die Erkenntnisse über die Biodiversität und die funktionalen Unterschiede in Bergwäldern zu vertiefen. Zudem ist ein Langzeitmonitoring der Bodenbiodiversität unverzichtbar, um die zeitliche Dynamik mikrobieller Gemeinschaften unter sich verändernden Umweltbedingungen besser zu verstehen.

Zusammenfassung und Ausblick

Trittsteinbiotope spielen eine wesentliche Rolle für die Vernetzung von Waldlebensräumen, indem sie die Ausbreitung von Arten fördern und somit maßgeblich zum Erhalt sowie zur Erhöhung der genetischen Vielfalt, der Artenvielfalt und der Ökosystemvielfalt beitragen. Die Flächen bieten zahlreichen Waldarten, darunter totholzbewohnende Insekten, Moosen, Pilzen, Flechten und Waldvögeln, einen Lebensraum.

In diesem Zusammenhang wird die Beziehung zwischen Arten, Waldhabitaten und -strukturen untersucht. Die Einbeziehung der Waldstruktur, zusammen mit Struktur-Indikatoren für Biodiversität, wie Totholz und baumbezogene Mikrohabitaten, fördert ein besseres Verständnis der Waldbiodiversität und bildet die Grundlage für die Bewertung der strukturellen Konnektivität innerhalb bewaldeter Gebiete. Ein Monitoring von Waldarten, ihrer Einflussfaktoren und Interaktionen ist wesentlich für die Beurteilung der Funktionalität und Gesundheit von Waldökosystemen. Die ersten Ergebnisse des ConnectForBio-Projekts bieten die Grundlage für ein verbessertes Verständnis der Biodiversität in Wäldern. Sie bieten zudem eine Basis für weiterführende Untersuchungen zu den grundlegenden Prinzipien der Ausbreitung und Anpassung, zu Artinteraktionen und zu populationsgenetischen Verbreitungsmustern.

Viele Organismen tragen erheblich zur ökologischen Funktionalität von Waldökosystemen bei. Besonders bodenbewohnende Organismen sind Schlüsselakteure, da sie den Nährstoffkreislauf und die allgemeine Bodenqualität beeinflussen. Gliederfüßler (Arthropoden) wie xylobionte Käfer, aber auch Spinnen, Bienen und Ameisen haben einen tiefgreifenden Einfluss auf die Ökosystemdynamik, indem sie wesentliche Prozesse wie Zersetzung und Bestäubung beeinflussen, oder als natürliche Gegenspieler von forstlichen Schädlingen fungieren. Obwohl einige funktionelle Gruppen bisher nicht erfasst wurden, wird ihre Bedeutung anerkannt und die Notwendigkeit zu einer Ergänzung dieser in weiteren Untersuchungen betont. Laufende Bemühungen konzentrieren sich darauf, unser Wissen auf bisher nicht repräsentierte Artengruppen auszudehnen, um in Zukunft eine umfangreiche Beurteilung von Trends der Waldstruktur und der Biodiversität in österreichischen Wäldern im Klimawandel zu ermöglichen.

Zukünftig ist eine Ausweitung der Untersuchungen auf zusätzliche Artengruppen, Tests und die Anwendung neuer Monitoring-Methoden, insbesondere unter Einsatz von Künstlicher Intelligenz, notwendig. Auch die Einbeziehung weiterer Flächen in verschiedenen Waldtypen, auf verschiedenen Ausgangsgesteinen und in unterschiedlich bewirtschafteten Wäldern sind erforderlich. Diese können helfen, die Entwicklung der Biodiversität unter dem Einfluss verschiedener Bewirtschaftungsszenarien besser zu verstehen. Darüber hinaus ist die Etablierung eines Langzeitmonitorings unerlässlich, um die zeitliche Dynamik der Artengemeinschaften in Wäldern unter sich verändernden Umweltbedingungen zu erfassen. Nur durch die Verknüpfung von Einflussfaktoren mit artspezifischen Daten oder Populationsverbreitungsmustern erlaubt es Verhaltensmuster zu erkennen und die Fähigkeit von Arten, fragmentierte Landschaften zu überwinden, zu beurteilen.

Summary and future perspective

Stepping stones play a vital role in connecting forest habitats by facilitating species dispersal. This contributes significantly to preserving and enhancing genetic diversity, species richness, and ecosystem diversity. Such forest areas provide habitats for numerous forest-related species, including deadwood-dwelling insects, bryophytes, fungi, lichens, and birds. Within this context, relationships between species, their habitats, and structural elements in forests are being investigated.

Incorporating forest structure and specifically structural indicators for biodiversity, such as deadwood and tree-related microhabitats, allows for a deeper understanding of forest biodiversity. This approach also forms the basis for assessing structural connectivity within forested landscapes. Monitoring forest-related species, their influencing factors, and interactions is essential for evaluating the functionality and health of forest ecosystems. The first findings from the ConnectForBio project lay the groundwork for advancing our understanding of forest biodiversity. They also provide the foundation for further studies of species dispersal and adaptation, species interactions, and patterns of population genetics.

Many organisms contribute significantly to the ecological functionality of forest ecosystems. Soil-dwelling organisms, in particular, are key players, as they influence nutrient cycling and overall soil quality. Arthropods, such as deadwood-dwelling beetles, spiders, bees, and ants, profoundly affect ecosystem dynamics by driving critical processes like decomposition, pollination, and serving as natural regulators of forest pests. While some functional groups have not been studied yet, their importance is recognized, and the need to include them in future research is emphasized. Ongoing efforts aim to expand our knowledge of underrepresented species groups, enabling a comprehensive assessment of forest structure and biodiversity trends in Austrian forests under climate change.

Future research must expand to include additional species groups, develop and test new monitoring methods—especially those leveraging artificial intelligence—and integrate a broader range of forest types, geological substrates, and management regimes. These measures will help improving our understanding of biodiversity trends under various management scenarios. Establishing long-term monitoring is crucial for capturing and analyzing the temporal dynamics of species communities in forests under changing environmental conditions. Only by linking influencing drivers with species-specific data or population distribution patterns, behavioral trends can be identified and species' ability to navigate fragmented landscapes can be assessed.

Literatur

- BARKMAN, J. J., DOING, H., & SEGAL, S. (1964). Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. *Acta Bot. Neerl.* (1k 394–419).
- BRAUN-BLANQUET, J. (1928). *Pflanzensoziologie - Grundzüge der Vegetationskunde*. Springer.
- BÜTLER, R., LACHAT, T., KRUMM, F., KRAUS, D., & LARRIEU, L. (2020). Field Guide to Tree-related Microhabitats. Descriptions and size limits for their inventory. 59. www.wsl.ch/fg-trems
- CORRALES, C., & HÖGLUND, J. (2012). Maintenance of gene flow by female-biased dispersal of Black Grouse *Tetrao tetrix* in northern Sweden. *Journal of Ornithology*, 153(4), 1127–1139. <https://doi.org/10.1007/s10336-012-0844-0>
- GJERDE, I., BLOM, H. H., HEEGAARD, E., & SÆTERSDAL, M. (2015). Lichen colonization patterns show minor effects of dispersal distance at landscape scale. *Ecography*, 38(9), 939–948. <https://doi.org/10.1111/ecog.01047>
- GUSTAFSSON, L., BAUHUS, J., ASBECK, T., AUGUSTYNCZIK, A. L. D., BASILE, M., FREY, J., GUTZAT, F., HANEWINKEL, M., HELBACH, J., & JONKER, M. (2020). Retention as an integrated biodiversity conservation approach for continuous-cover forestry in Europe. *Ambio*, 49(1), 85–97.
- HERMY, M., HONNAY, O., FIRBANK, L., GRASHOF-BOKDAM, C., & LAWESSON, J. E. (1999). An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation*, 91(1), 9–22. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00045-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00045-2)
- HOLZER, E. H., AURENHAMMER, S. A., FRIESS, T. F., ZIMMERMANN, P. Z., & HOLZINGER, W. E. H. (2021). Xylobionte Käfer als Biodiversitäts-Indikatoren der Wälder im Nationalpark Gesäuse (Steiermark, Österreich) (Coleoptera). 239–279.
- JÄCH, M. A. (1994). Rote Liste der gefährdeten Käfer Österreichs (Coleoptera). *Grüne Reihe des Lebensministeriums* 2 (1k 107–200).
- KILIAN, W., MÜLLER, F., & STARLINGER, F. (1994). Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. *FBVA-Berichte*, 82, 55–57.
- KLINGA, P., MIKOLÁŠ, M., SMOLKO, P., TEJKAL, M., HÖGLUND, J., & PAULE, L. (2019). Considering landscape connectivity and gene flow in the Anthropocene using complementary landscape genetics and habitat modelling approaches. *Landscape Ecology*, 34(3), 521–536. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00789-9>
- KÖHLER, F. (2000). Totholz Käfer in Naturwaldzellen des nördlichen Rheinlandes. *Vergleichende Studien zur Totholzkäferfauna Deutschlands und deutschen Naturwaldforschung. Naturwaldzellen Teil VII*. 18, 1–351.
- KROPIK, M., ZECHMEISTER, H. G., & MOSER, D. (2020). Climate Variables Outstrip Deadwood Amount: Desiccation as the Main Trigger for *Buxbaumia viridis* Occurrence. *Plants*, 10(1), 61.
- LAPIN, K., HOFFMANN, J. A., BRAUN, M., & OETTEL, J. (2024). Identification and prioritization of stepping stones for biodiversity conservation in forest ecosystems. *Conservation Science and Practice*, 6(7), 1–18. <https://doi.org/10.1111/csp2.13161>
- LARRIEU, L., CABANETTES, A., BRIN, A., BOUGET, C., & DECONCHAT, M. (2014). Tree microhabitats at the stand scale in montane beech–fir forests: practical information for taxa conservation in forestry. *European Journal of Forest Research*, 133(2), 355–367.
- LINDENMAYER, D. B., & FRANKLIN, J. F. (2002). *Conserving forest biodiversity: a comprehensive multiscaled approach*. Island press.
- ÖBF. (2017). *Naturschutzpraxisbuch - Naturschutzmaßnahmen als Beitrag zum Ökologischen Landschaftsmanagement*. <https://www.bundesforste.at/fileadmin/naturraummanagement/Naturschutz/OEBf-Naturschutzpraxisbuch.pdf>
- OETTEL, J., AMON, C., BRADLEY, O., LEEB, C., NEIDEL, V., PETERMANN, J., SACHSER, F., & LAPIN, K. (2024). Survey approaches of Austria's Stepping Stone Program contribute to biodiversity monitoring in forests. *ActaZooBot*, 160, 232–233.
- PERHANS, K., APPELGREN, L., JONSSON, F., NORDIN, U., SÖDERSTRÖM, B., & GUSTAFSSON, L. (2009). Retention patches as potential refugia for bryophytes and lichens in managed forest landscapes. *Biological Conservation*, 142(5), 1125–1133. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.12.033>
- PERHANS, K., GUSTAFSSON, L., JONSSON, F., NORDIN, U., & WEIBULL, H. (2007). Bryophytes and lichens in different types of forest set-asides in boreal Sweden. *Forest Ecology and Management*, 242(2–3), 374–390. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.055>

- PFEIFER, R., & SCHMIDT, O. (2022). Singvögel im Wald: Einblicke in eine erfolgreiche Lebensgemeinschaft. AULA Verlag.
- SAURA, S., BODIN, Ö., & FORTIN, M. J. (2014). EDITOR'S CHOICE: Stepping stones are crucial for species' long-distance dispersal and range expansion through habitat networks. *Journal of Applied Ecology*, 51(1), 171-182. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12179>
- SCHMIDL, J., & BUSSLER, H. (2004). Ökologische Gilden xylobionter Käfer Deutschlands. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 36(7), 202-218.
- SCHRATT-EHRENDORFER, L., NIKLFELD, H., SCHRÖCK, C., & STÖHR, O. (2022). Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen Österreichs. *Stapfia* - 0114.
- SVERDRUP-THYGESON, A., BENDIKSEN, E., BIRKEMOE, T., & LARSSON, K. H. (2014). Do conservation measures in forest work? A comparison of three area-based conservation tools for wood-living species in boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 330, 8-16.
- SVERDRUP-THYGESON, A., SKARPAAS, O., BLUMENTRATH, S., BIRKEMOE, T., & EVJU, M. (2017). Habitat connectivity affects specialist species richness more than generalists in veteran trees. *Forest Ecology and Management*, 403(1432), 96-102. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.003>
- TISCHENDORF, L., & FAHRIG, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90(1), 7-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.900102.x>
- WANG, Y. H., YANG, K. C., BRIDGMAN, C. L., & LIN, L. K. (2008). Habitat suitability modelling to correlate gene flow with landscape connectivity. *Landscape Ecology*, 23(8), 989-1000. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9262-3>
- WIKTANDER, U., OLSSON, O., & NILSSON, S. G. (2001). Seasonal variation in home-range size, and habitat area requirement of the lesser spotted woodpecker (*Dendrocopos minor*) in southern Sweden. *Biological conservation*, 100(3), 387-395.
- WILLNER, W., & GRABHERR, G. (2007). Die Wälder und Gebüsch Österreichs. Spektrum Akademischer Verlag.
- WINTLE, B. A., KUJALA, H., WHITEHEAD, A., CAMERON, A., VELOZ, S., KUKKALA, A., MOILANEN, A., GORDON, A., LENTINI, P. E., & CADENHEAD, N. C. R. (2019). Global synthesis of conservation studies reveals the importance of small habitat patches for biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(3), 909-914.

